



RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE



Ministre de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université Echahid Hamma Lakhdar El-Oued

Faculté de Technologie

Mémoire de Fin d'Étude

En vue de l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologie

Filière : Télécommunication

Spécialité : Systèmes de Télécommunication

Thème

**Application du multiplexage par division de fréquences
orthogonales dans les réseaux d'accès optique**

Réalisé par :

CHETEHOUNA Safa

NEDJAI Mohammed Lakhdar

Soutenu en juin 2023 devant le jury composé de :

Mr. Abdelatif Khalil

Président

Mr. Amina Tedjani

MCA

Examineur

Mr. Abdelkader Medjouri

MCA

Rapporteur

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICACE

Je dédie ce travail, comme preuve de respect, de gratitude, et de reconnaissance à :

A mes très chers parents pour leur encouragement et leurs sacrifices qu'ils ont endurés.;

A ma très chère famille ;

A tous mes amis ;

A toutes les personnes chères à mon coeur, pour leur aide, leur temps, leur encouragement, leur assistance et soutien ,

A la promotion Master Systèmes de Télécommunications 2022-2023 ;

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci infiniment.

CHETEHOUNA Safa.

DEDICACE

Je dédie cet humble travail à :

A la mémoire de mon grand père.

A ma chère mère.

A mes chères soeurs.

*A ma chère famille, que Dieu leur accorde une bonne santé et une
longue vie.*

à tous mes amis .

A ceux qui ont eu un impact énorme dans ma vie.

NEDJAI Mohammed lakhdar.

Remerciement

Nous remercions tout d'abord Dieu le Tout Puissant qui nous a donné la force, le courage et la foi pour réaliser ce travail de recherche.

*Nous adressons aussi nos chaleureux remerciement à notre encadreur Monsieur Dr : **MEDJOURI Abdelkader** pour cette orientation et ces suggestions durant la réalisation de ce travail.*

MERCI ! On tient aussi à remercier tous les membres de jury qui ont accepté d'évaluer et de juger le présent travail.

Nous remercions également tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Résumé

Développée au départ pour l'audiovisuel, la technique de transmission de données, connue sous le sigle OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), devient incontournable pour l'augmentation des débits des réseaux de communication. La technique OFDM offre l'avantage d'une exploitation optimale du spectre hertzien, sans débordement à l'extérieur de la bande de fréquence allouée. Dans ce projet de fin cycle, nous proposons d'utiliser la technique OFDM pour les réseaux d'accès utilisant les fibres optiques.

Mots clés

OFDM, réseau optique, transmission haut débit, FTTH.

Abstract

Initially developed for the audiovisual sector, the data transmission technique, known by the acronym OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), has become essential for increasing communication network speeds. The OFDM technique offers the advantage of optimal exploitation of the hertzian spectrum, without overflow outside the allocated frequency band. In this end-of-cycle project, we propose to use the OFDM technique for access networks using optical fibers.

Keywords

OFDM, optical network, high speed transmission, FTTH.

ملخص

أصبحت تقنية نقل البيانات، التي تم تطويرها في الأصل للصناعة السمعية البصرية، والمعروفة باسم OFDM (تعدد الإرسال بتقسيم التردد المتعامد)، ضرورية لزيادة سرعة شبكات الاتصال. تقدم تقنية OFDM ميزة الاستغلال الأمثل لطيف الراديو، دون فائض خارج نطاق التردد المخصص. في مشروع الدورة النهائية هذا، نقترح استخدام تقنية OFDM لشبكات الوصول باستخدام الألياف الضوئية.

كلمات مفتاحية: OFDM، شبكة بصرية، ناقل حركة عالي السرعة، FTTH.

SOMMAIRE

Table des matières	
<i>DEDICACE</i>	I
<i>DEDICACE</i>	II
<i>Remerciement</i>	III
Résume	IV
Table des matières.....	V
Liste de figures.....	VIII
Liste de tableaux	IX
TABLE DES ACRONYMS.....	X
Introduction général	13
<i>Chapitre I</i> :.....	14
<i>les systèmes de communications optiques</i>	14
1. Introduction	15
2.Généralité communication optique	15
3.Architecture d'un système optique de transmission point à point	15
3.1.Évolution des technologies de communication par fibre optique	16
4.classes des fibres optiques.....	17
4.1.La fibre optique	17
4.1.1Structure de la fibre optique	17
4.2.Propriétés.....	18
4.2.1.L'onde optique [18].....	18
4.2.2.L'indice de réfraction [18]	18
4.3.Propagation dans la fibre.....	18
4.3 .1. La réflexion[18].....	18
4.4.types des fibres optiques	19
4.4.1.Les Fibres optiques multimodes.....	19
4.4.1.A. Fibre optique multimodes à saut d'indice	19
4.4.1.B. Fibre optique multimodes à gradient d'indice	19
4.4.2.Les fibres optique monomodes [5].....	20
4.5.Caractéristiques de propagation sur fibre optique	20
4.6. Les effets de propagation optique	20
4.6.1. Les effets linéaires.....	21

4.6.1.A.L'atténuation de la fibre	21
4.6.1.B.La Dispersion chromatique (CD, Chromatic Dispersion)	21
4.6.1.C.La dispersion modale.....	22
4.6.2.Les effets non linéaires.....	22
4.6.2.A.Définition	22
4.6.2.B.Les effets Kerr	22
4.6.2.C.Les effets Raman, (SRS, Simulated Raman Scattering).....	22
4.6.2.D.Les effets Brillouin, (SBS, Stimulated Brillouin Scattering)	22
4.7.Avantages des fibres optiques	23
5.Conclusion.....	23
<i>Chapitre II :</i>	24
<i>Les réseaux optiques</i>	24
1.Introduction	25
2. Réseaux sur fibres optiques.....	25
2.1.Structure des réseaux.....	25
2.2 .Les réseaux de télécoms par fibres optiques :[13]	25
2.3. Les types des réseaux	26
2.3.1.Le réseau longue distance (WAN)	27
2.3.2.Le réseau métropolitain (MAN).....	28
2.3.4.Le réseau local (LAN).....	30
3.Multiplexage dans les liaisons optiques :	31
3.1.Le multiplexage temporel optique (OTDM) :	31
3.2.Le multiplexage en longueur d'onde (WDM) :.....	33
3.3.La technique OFDM.....	36
4.Réseaux optiques passifs et fibre optique vers la maison :	36
4.1.TDM-PON :	37
4.2.WDM-PON :	38
4.3.OFDM-PON :.....	39
4.3.1.Modulation multiporteuse et OFDM :.....	39
. Émetteurs-récepteurs OFDM[21].....	42
5.Conclusion.....	43
<i>Chapitre III :</i>	45
<i>Résultats de simulation et discussion</i>	45
1.Introduction	46

2.structure de la liaison.....	46
2.1.1.Emetteur	46
2.1.2.Canal	47
2.1.3.Recepteur :	47
3.Résultats de simulation :	48
3.1 Atténuation null.....	48
3.2 L'effet Attenuation sur la qualité de transmission	52
3.3 Effet non linéaire.....	57
4.Conclusion.....	62
Conclusion général :.....	64
REFERENCES.....	66

Liste de figures	
Figure I.1 : Schéma d'un système de telecommunications optiques point-à-point.....	16
Figure I.2 : schéma fonctionnel du système de communication à fibre optique	16
Figure I .3 :Schéma Structure de la fibre optique	18
Figure I.4 : Propagation des rayons contenus dans le cône d'acceptance.....	19
Figure I.5 :Diamètres, indices de réfraction et modes de propagation du signal des trois types de fibre.....	20
Figure II.1 : Différents types de réseau public.....	26
Figure II. 2 : Architecture typique du réseau optique	27
Figure II .3 : Réseau métropolitain structurant et réseau métropolitain d'accès.....	29
Figure II.4 : Le réseau local	30
Figure II.5 : Diagramme de multiplexage temporel des données.	32
Figure II.6 : Chaîne de transmission en OTDM.	32
Figure II.7 : Diagramme d'une liaison par multiplexage en longueurs d'onde.	33
Figure II.8 : Principe d'une liaison WDM	34
Figure II. 9 : Exemple d'allocation en longueur d'onde pour le DWDM.....	35
Figure II. 10 : Exemple d'allocations en longueur d'onde pour le CWDM.	35
Figure II.11 : Répartition fréquentielle des porteuses.....	36
Figure II .12 :Illustration de TDM-PON et planification de la trame.	38
Figure II .13 :Configuration d'un WDM-PON basé sur l'infrastructure TDM-PON, (c'est-à-dire un séparateur de puissance indépendant de longueur d'onde).	39
Figure II.14 :Sub division de la largeur de bande du canal W en sous-canaux à bande étroite de largeur égale Δf	40
Figure II.15 : Schéma du système de transmission avec les architectures de l'émetteur-récepteur OFDM.....	42
Figure III.1 :Structure Liaison OFDM –PON.....	46
Figure III.2 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(2) en Atténuation null	49
Figure III.3 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(3) en Atténuation null	50
Figure III.4 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(4) en Atténuation null	50
Figure III.5 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(5) en Atténuation null	51
Figure III.6 : lavariation SER en fonction de porteuse pour atténuation 0 dB/kmet coefficient non lineaire $0 \text{ m}^2/\text{w}$	52
Figure III.7 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(2) en Atténuation $0.2 \times 10^{-3} \text{ db/m}$ et coefficient non lineaire $0 \text{ m}^2/\text{w}$	53
Figure III.8 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(3) en Atténuation $0.2 \times 10^{-3} \text{ db/m}$ et coefficient non lineaire $0 \text{ m}^2/\text{w}$	54
Figure III.9 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(4) en Atténuation $0.2 \times 10^{-3} \text{ db/m}$ et coefficient non lineaire $0 \text{ m}^2/\text{w}$	55
Figure III.10 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(5) en Atténuation $0.2 \times 10^{-3} \text{ db/m}$ et coefficient non lineaire $0 \text{ m}^2/\text{w}$	56
Figure III.11 : lavariation SER en fonction de porteuse pour atténuation 0.2 dB/km et coefficient non lineaire $0 \text{ m}^2/\text{w}$	57

Figure III.12 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(2) en Attenuation 0 db/m et coefficient non lineaire $2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$	58
Figure III.14 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(4) en Attenuation 0 db/m et coefficient non lineaire $2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$	60
Figure III.15 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(5) en Attenuation 0 db/m et coefficient non lineaire $2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$	61
Figure III.16 : la variation SER en fonction de porteuse pour attunuation 0 dB/km et coefficient non lineaire $2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$	62

Liste de tableaux

Tableau I.1 : Résumé des réseaux.....	25
--	----

TABLE DES ACRONYMS

<i>Acronyms</i>	<i>Signification Anglo-Saxons</i>	<i>Signification française</i>
IM/DD	Intensity Modulation / Directed Détection	Détection Directe/Modulation Intensité
SRS	Simulated Raman Scattering	Diffusion Raman Stimulée
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage Répartition Longueur D'onde Dense
SBS	Stimulated Brillouin Scattering	Diffusion Brillouin Stimulée
OFDM-PON	Orthogonal Frequency Division Multiplexing-Passive Optical Network	Orthogonal Frequency Division Multiplexing- Réseau Optique Passif
WAN	Wide Area Network	Réseau Longue Distance
SDH	Hiérarchie Numérique Synchronne	Synchronous Digital Hierarchy
MAN	Metropolitan Network	Réseau Métropolitain
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	Amplificateur Fibre Dopée Erbium
LAN	Local Network	Réseau Local
FTTx	Fibre To The x	Fibre jusqu'à x
FTTN	Fiber To The Node	Fibre jusqu'au noeud
FTTB	Fiber To The Building	Fibre jusqu'au bâtiment
FTTH	Fiber To The Home	Fibre à la maison
TDM	Time Division Multiplexing	Multiplexage Mépartition Temporel
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Multiplexage Longueur D'onde
DSL	Digital Subscriber Line	Ligne Abonné Numérique
FDM	Frequency Division Multiplexing	Multiplexage Répartition Fréquence
DMT	Discrete Multi-Tone Modulation	Modulation Multi-Tonalité discrète
NPE	Network Protection Equipment.	Équipement Protection Réseau.
IUN	Influencer Outreach Network	Réseau Sensibilisation Influenceurs
OLT	Optical Line Terminal	Terminal Ligne Optique

ONU	Optical Network Units	Unités Réseau Optique
OTU	One Time Passcode	Code Secret Usage Unique
DFT	Discrete Fourier Transform	Transformée Discrète Fourier
FFT	Fast Fourier Transform	Transformation Rapide Fourier
VOA	Variable Optical Attenuator	Atténuateur Optique Variable
DAC	Digital Analog Conversion	Conversion Numérique-Analogique
SMF	Single Mode Fiber	Fibre Monomode
PIN	Personal Identification Number	Numéro identification personnel
LPF	Low-Pass Filter	Filtre Passe Bas
PRBS	Pseudorandom Binary Sequence	Séquence Binaire Pseudo-Aléatoire
NLS	Nonlinear Schrödinger	Schrödinger Non Linéaire

***INTRODUCTION
GÉNÉRALE***

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction général

Lorsqu'on parle de télécommunications, l'accent est souvent mis sur la communication entre les téléphones, les tours d'ordinateurs intelligents et un modem privé dans le signal de communication. En fait, le vrai sens du terme communication signifie « communication à partir de la communication ».

Malgré la diversité des méthodes de communication et de communication et des moyens de communication tout au long de l'histoire, le terme "communication après communication" est le transporteur, comme la fibre optique, à un autre endroit dans sa forme originale et d'en tirer des informations.

Les connexions à fibre optique sont passées de systèmes simples pour fournir de la lumière aux endroits difficiles d'accès aux systèmes qui affectent nos vies tels que l'électronique et les ordinateurs. La fibre optique a pris une place distincte dans le domaine des communications, remplaçant le fil de cuivre dans de nombreux usages comme une connexion entre les centraux téléphoniques et les lignes à longue portée et à travers les gens de mer, pour ses avantages, y compris : très faible atténuation du signal envoyé, insensibilité aux interférences externes et non chauffage. En outre, le taux de transmission dans la fibre est très élevé. Cela justifie le développement important des réseaux optiques, en particulier la connectivité des individus via la technologie FTTH (fibre à domicile) au cours des 15 à 20 prochaines années, les réseaux d'accès en cuivre à travers le monde seront largement remplacés par un réseau d'accès optique. Cependant, bien que les réseaux à fibre optique permettent d'atteindre plusieurs vitesses gigabit/s pour une perte minimale, en pratique, différents problèmes tels que le traitement électronique sont rencontrés avant le réglage et après la détection. Pour surmonter ces limites et améliorer la transmission, les techniques de multiplexage, y compris la technologie OFDM, sont considérées comme répondant aux besoins futurs tout en maintenant les coûts les plus bas possible.

L'introduction de la technologie OFDM dans les connexions à fibre optique se justifie par la nécessité non seulement d'augmenter la vitesse de transmission (augmentant ainsi la capacité de transmission), mais aussi d'utiliser des composants optiques similaires à ceux déjà maîtrisés en optique sans fil. La détection directe OFDM est un bon choix pour les applications PON en raison du faible revenu pour l'architecture future par rapport à la détection cohérente.

Le manuscrit comporte trois chapitres :

Au chapitre I, nous avons présenté une introduction aux systèmes de communication optique dans laquelle nous avons parlé de l'architecture, des propriétés des fibres optiques et des effets de prolifération.

Dans le chapitre II, nous expliquerons en détail les différents types de réseaux de communication à fibre optique et les techniques de multiplexage axées sur la technologie OFDM

Enfin, nous terminons avec le chapitre 3 qui est l'élément clé de cette recherche basée sur la simulation, dont l'étude est d'évaluer la performance du système OFDM sur les fibres dans le cas des réseaux d'accès en interprétant les résultats obtenus.

En conséquence, une conclusion générale et des vues concluent ce manuscrit.

Chapitre I :
les systèmes de
communications optiques

Chapitre I : les systèmes de communications optiques

1. Introduction

Depuis 25 ans, la fibre a remplacé le coaxial dans la plupart des réseaux de télécommunications basés sur les opérateurs, du moins à haut débit. Mais son émergence nécessite la conception et le développement de nouveaux composants optiques ou optoélectroniques performants.

Dans ce chapitre, la description des éléments du système de communication optique par fibres optiques sera abordée ainsi que la définition de ses sections de structure, de propriétés et de types. En plus des différents composants de tout système de communication par fibre optique : émetteurs, récepteurs et modificateurs optiques .

2.Généralité communication optique

Un système de communication transmet des informations d'un endroit à un autre, séparés par quelques kilomètres ou par des distances transocéaniques. L'information est souvent véhiculée par une onde porteuse électromagnétique dont la fréquence peut varier de quelques mégahertz à plusieurs centaines de térahertz. le système de communication optique utilise des fréquences porteuses élevées(100THz) dans la région visible ou proche infrarouge du spectre électromagnétique. ils sont parfois appelés systèmes à ondes lumineuses pour les distinguer des systèmes à micro-ondes, dont la fréquence porteuse est généralement inférieure de cinq ordres de grandeur (1GH) communication par fibre optique les systèmes sont des systèmes à ondes lumineuses qui utilisent des fibres optiques pour la transmission d'informations.[2]

3.Architecture d'un système optique de transmission point à point

Le schéma d'un système de télécommunications optiques point-à-point est décrit par la figure 1.1 Dans ce système, le signal optique est émis, transporté, régénéré (si il y a lieu) et détecté au moyens de composants optiques ou opto-électroniques. Dans la suite de ce paragraphe, nous présenterons certains de ces composants en distinguant la partie émission/réception, la partie transport et la partie régénération.[3]

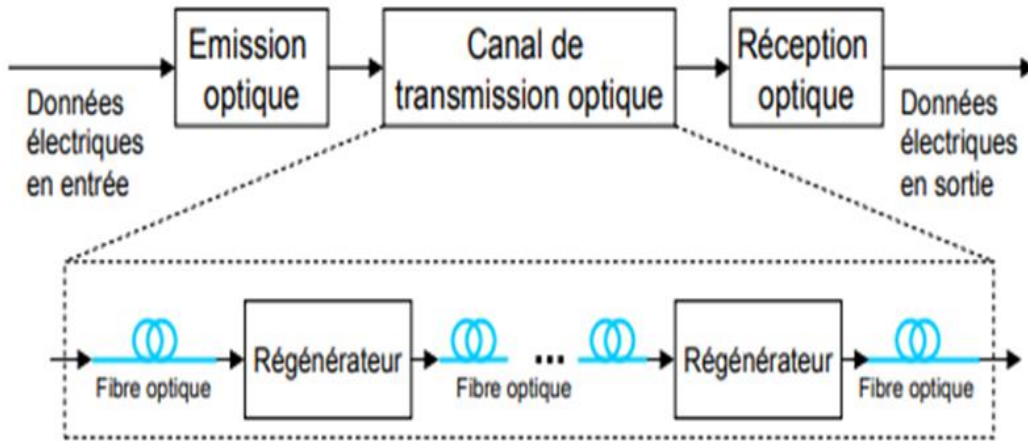


Figure I.1: Schéma d'un système de télécommunications optiques point-à-point.[3]

3.1.Évolution des technologies de communication par fibre optique

La figure 1.2 montre le schéma fonctionnel du système de communication à fibre optique le plus simple, qui comprend un émetteur optique, un récepteur optique et une fibre optique de transmission. Étant donné qu'une fibre optique ne peut transporter qu'un signal optique, le signal électrique provenant d'une source d'informations doit être traduit en un signal optique par l'émetteur optique qui effectue la conversion électrique-optique (E/O). Une fois que le signal optique est livré à la destination par la fibre optique, il doit être reconverti dans le domaine électrique, ce qui est accompli par le récepteur optique effectuant une conversion optique-électrique (O/E) .[6]

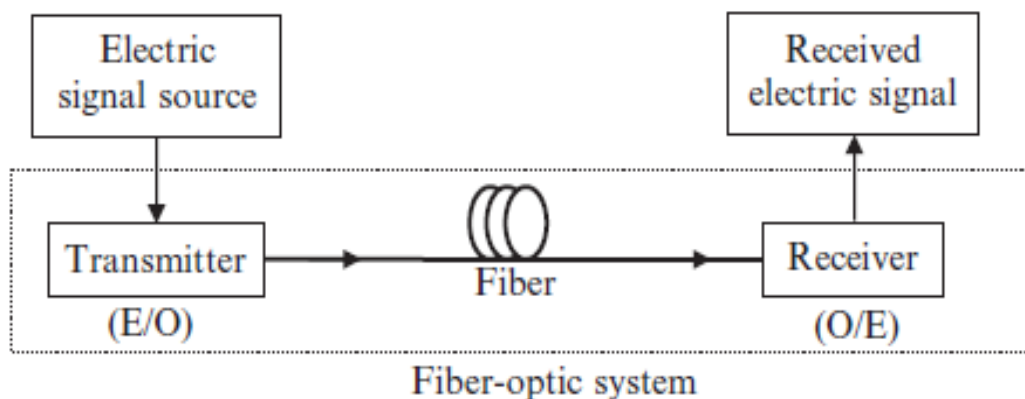


Figure I.2 : schéma fonctionnel du système de communication à fibre optique .[6]

Le système de télécommunications optiques comprend :

- ✚ A.Émetteur (source optique)

Chapitre I : les systèmes de communications optiques

On distingue classiquement les diodes électroluminescentes (DEL) et les diodes laser (DL) selon le type de mécanisme mis en jeu pour l'émission de lumière (émission spontanée pour les DEL et émission stimulée pour les DL). Dans le cas des liaisons haut débit, seules les diodes laser, nettement plus performantes, sont utilisées. Dans une description de type « système » des liaisons par fibre optique, les diodes laser interviennent essentiellement par leurs caractéristiques statiques et par leurs caractéristiques dynamiques .[6]

✚ B.Modulateurs optiques

Pour transmettre des informations dans les systèmes numériques optiques, il faut les imprimer sur le signal à envoyer dans la fibre : c'est ce que l'on appelle "modulation optique". La grande majorité des systèmes de communication à fibre optique déployés actuellement, utilise la technique IM/DD (Intensity Modulation and Directed Détection). Il existe deux types de modulation optique : la modulation directe et la modulation externe.[7]

✚ C.Récepteurs

Qui réalise la fonction inverse de celle de l'émetteur, c'est à dire transforme les signaux optiques en leur équivalent électronique afin de restituer les données de départ. Pour ce faire, des sous-systèmes de traitement du signal et de synchronisation sont nécessaires.

Après propagation le long d'une série de tronçons de fibres optiques et d'amplificateurs, le signal arrive au niveau du récepteur. [18]

✚ D. Canal de transmission

Qui véhicule les impulsions optiques entre les points de départ et d'arrivée.[18]

4.classes des fibres optiques

4.1.La fibre optique

Dans le domaine des télécommunications, la fibre optique peut être considérée comme un vecteur physique pouvant transporter, via un signal optique, des données numériques d'un point à un autre de la planète.[4]

4.1.1Structure de la fibre optique

La fibre optique a un noyau central (coeur) d'indice de réfraction n_1 dans lequel la lumière est guidée. Le coeur est noyé dans une gaine externe d'indice de réfraction n_2 plus faible que celui du coeur. Un revêtement de protection est appliqué à la gaine et permet une protection mécanique et chimique adéquate de la fibre optique. La figure 1.3présente la structure d'une fibre optique.[7]

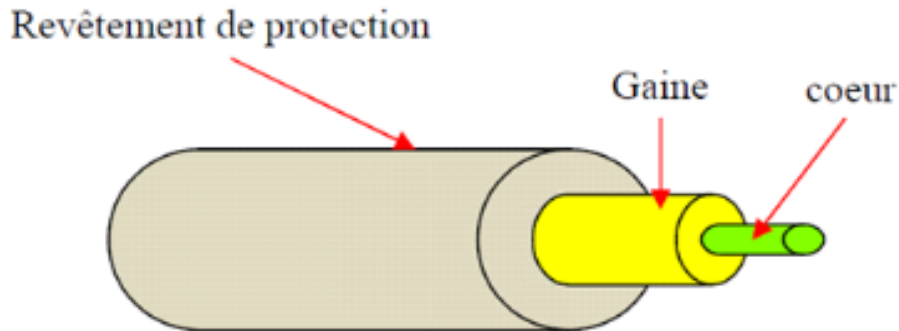


Figure I .3:Schéma Structure de la fibre optique[7]

4.2.Propriétés

4.2.1.L'onde optique [18]

C'est une onde électromagnétique qui se propage dans la fibre caractérisé par- Un champ électrique E, Un champ magnétique H et Une direction de propagation.

4.2.2.L'indice de réfraction [18]

On définit les milieux constituant la fibre optique (coeur, gaine) par l'indice de réfraction n .

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (1)$$

ϵ_r : la permittivité relative de milieu.

μ_r : la perméabilité relative de milieu.

4.3.Propagation dans la fibre

4.3 .1. La réflexion[18]

La propagation des rayons optiques se fait par la réflexion successive sur l'interface coeur-gaine.

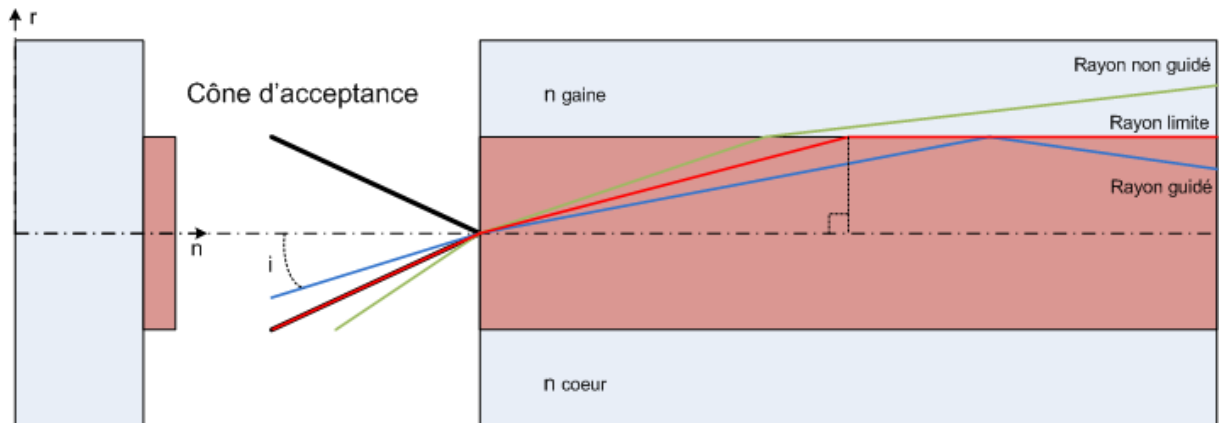


Figure I.4 : Propagation des rayons contenus dans le cône d'acceptance.[18]

Pour que les rayons injectés dans la fibre soit totalement réfléchis par l'interface coeur-gaine, il est nécessaire que l'angle d'incidence soit supérieur à l'angle critique, cette condition impose l'existence à l'entrée de la fibre d'un cône d'acceptante, à l'intérieur du quel tout rayon injecté se propage par réflexion totale :

$$\theta_{ACC} = \sqrt{(n_1)^2 + (n_2)^2} \quad (2)$$

.Ouverture numérique

L'ouverture numérique (ON) représente l'ouverture angulaire limite avant une transmission et non une réflexion totale sur le dioptre coeur-gaine de la fibre.

On peut démontrer que l'ouverture numérique est donnée par la formule suivante :[9]

$$ON = \sin i_{max} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (3)$$

4.4.types des fibres optiques

Les fibres optiques ont deux types, les fibres multimodes (gradient ou saut d'indice) et les fibres monomodes:

4.4.1.Les Fibres optiques multimodes

4.4.1.A. Fibre optique multimodes à saut d'indice

Les fibres multimodes à saut d'indice, présentant une variation très rapide et grande de l'indice de réfraction à l'interface coeur-gaine ;[7]

4.4.1.B. Fibre optique multimodes à gradient d'indice

Chapitre I : les systèmes de communications optiques

Les fibres multimodes à gradient d'indice, présentant une variation décroissante non linéaire de l'indice de réfraction depuis l'axe de la fibre vers la gaine optique.[7]

4.4.2. Les fibres optiques monomodes [5]

Ce sont des fibres dans lesquelles ne se propage que le mode fondamentale, ce type est très intéressant du point de vue de la dispersion et de la bande passante.

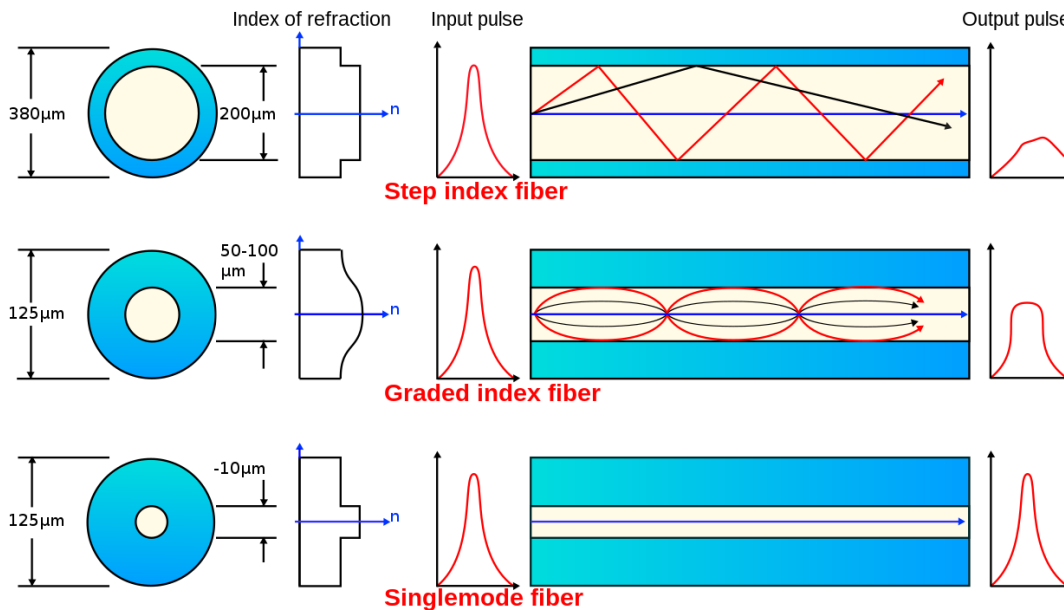


Figure I.5: Diamètres, indices de réfraction et modes de propagation du signal des trois types de fibre.[5]

4.5. Caractéristiques de propagation sur fibre optique

Compte tenu de la faible perte de silice à 1550 nm et de sa dispersion associée, la propagation sur fibres optiques a la particularité d'utiliser les propriétés d'indice de réfraction de la silice pour guider la lumière selon différentes technologies. L'objectif est de passer brièvement en revue les concepts de physique. Nous commençons d'abord par les effets linéaires et non linéaires affectant l'évolution de la propagation.[11]

4.6. Les effets de propagation optique

Même si comparativement aux autres milieux de transmission tels que les câbles de cuivre ou les canaux radioélectriques, la fibre optique s'avère être le meilleur support de transmission sur câble à haut débit (au-delà de 100 Mbit/s) qui existe actuellement, elle n'est pas pour autant exempte de perturbations. Des phénomènes linéaires et non-linéaires perturbent la transmission des signaux[18]

Chapitre I : les systèmes de communications optiques

4.6.1. Les effets linéaires

4.6.1.A.L'atténuation de la fibre

L'atténuation de la puissance optique d'un signal lumineux lorsqu'il se propage le long d'une fibre est une considération importante dans la conception d'un système de communication optique ; le degré d'atténuation joue un rôle majeur dans la détermination de la distance de transmission maximale entre un émetteur et un récepteur ou un amplificateur en ligne. Les mécanismes d'atténuation de base qui provoquent des réductions de niveau de puissance dans une fibre sont l'absorption, la diffusion et les pertes radiatives de l'énergie optique. L'absorption est liée au matériau fibreux, tandis que la diffusion est associée à la fois au matériau fibreux et aux imperfections structurales du guide d'ondes optique. L'atténuation due aux effets de perte radiative provient de perturbations (à la fois microscopiques et macroscopiques) de la géométrie de la fibre .[12]

4.6.1.B.La Dispersion chromatique (CD, Chromatic Dispersion)

La dispersion chromatique d'une fibre optique, comme de tout milieu transparent, caractérise la dépendance de son indice de réfraction, et donc de la constante de propagation du signal β , à la longueur d'onde ou à la fréquence du signal optique qui s'y propage.[4]

Dans les fibres monomodes la dispersion chromatique provient de deux causes principales : .La dispersion du matériau D_m : elle est liée à la dépendance de l'indice de réfraction de la longueur d'onde D_m est donnée par :

$$D_m(\lambda) = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_{\text{coeur}}(\lambda)}{d\lambda^2} \quad (4)$$

c :est la vitesse de la lumière dans le vide

. La dispersion du guide D_g : liée à la structure géométrique du guide d'onde, elle résulte de la variation de la constante de propagation β avec la fréquence normalisée V (qui dépend elle même de la longueur d'onde λ); la dispersion du guide est toujours négative et dépend des paramètres de la fibre. La dispersion du matériau D_g est donnée par:

$$D_g \approx -\frac{n_{\text{gaine}} - n_{\text{coeur}}}{c\lambda} \left[V \frac{\partial^2 (bV)}{\partial V^2} \right] \quad (5)$$

La dispersion chromatique D est donc la somme de D_m et D_g : [13]

$$D = D_m + D_g \quad (6)$$

Chapitre I : les systèmes de communications optiques

4.6.1.C.La dispersion modale

La dispersion chromatique discutée précédemment spécifie la vitesse de groupe dépendante de la longueur d'onde dans un mode optique. Si une fibre a plus d'un mode, différents modes auront également des vitesses de propagation différentes ; c'est ce qu'on appelle la dispersion modale.

La dispersion modale dépend du nombre de modes de propagation qui existent dans la fibre, qui, à son tour, est déterminé par la taille du cœur de la fibre et la différence d'indice entre le cœur et la gaine [14]

4.6.2.Les effets non linéaires

Nous allons brièvement décrire les effets non-linéaires pouvant se manifester dans les fibres optiques à savoir : l'effet Kerr, l'effet Raman et l'effet Brillouin.[3]

4.6.2.A.Définition

Les systèmes de télécommunications sur fibre sont conçus dans l'hypothèse d'une transmission linéaire et les effets non-linéaires sont alors des effets parasites qui en dégradent les performances quand les puissances véhiculées deviennent élevées .[1]

4.6.2.B.Les effets Kerr

Les effets non-linéaires subis par le signal optique au cours de sa propagation proviennent majoritairement de l'effet Kerr. Cet effet consiste en une variation de l'indice de réfraction du matériau en fonction de l'intensité du signal optique. L'indice de réfraction d'un milieu optique affecté par l'effet Kerr est déterminé de la manière suivante :[4]

$$n=n_0+n_2I \quad (7)$$

4.6.2.C.Les effets Raman, (SRS, Simulated Raman Scattering)

l'onde engendrée se propage dans le même sens et elle possède un décalage en fréquence beaucoup plus grand, de l'ordre de 10 THz . Cet effet devient important dès que la largeur spectrale de l'ensemble des signaux transmis est supérieure à quelques nm, ce qui est le cas de l'ensemble des canaux DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing). Le SRS limite la quantité de la lumière qui peut atteindre le récepteur. Pour un système consistant en N amplificateurs optiques, le seuil du SRS chutera d'un facteur N. [13]

4.6.2.D.Les effets Brillouin, (SBS, Stimulated Brillouin Scattering)

Chapitre I : les systèmes de communications optiques

cet effet impose une limite sur la quantité de puissance optique qui peut être utilement injectée dans une fibre optique. L'effet SBS a une puissance de seuil : quand ce seuil est dépassé, un facteur significatif de la lumière transmise est réorienté en arrière vers l'émetteur, onde de Stokes, avec une fréquence inférieure à celle du signal ; le SBS induit un bruit significatif dans le système. L'efficacité de cet effet diminue si le signal est modulé et disparaît pratiquement pour une bande supérieure à 100 GHz.[13]

4.7. Avantages des fibres optiques

La fibre optique est vite apparue très intéressante pour le domaine des télécommunications. Elle représente un support de transmission dont les nombreux avantages justifiant son introduction dans les systèmes de transmission sont donnés ci-après:[9]

Performances de transmission: Très faible atténuation, très grande bande utilisable, multiplexage possible.

Avantages de mise en oeuvre: Très petite taille, grande souplesse, faible poids.

Sécurité électrique: Isolation totale entre terminaux, utilisation possible en ambiance explosive ou sous fortes tensions.

Sécurité électromagnétique: Insensible aux parasites et n'en crée pas, inviolabilité presque totale.

Avantage économique: Moindre coût, en comparaison des autres supports.

5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts nécessaires pour comprendre la physique de la communication visuelle, le travail qui passe par ce sujet.

Il s'avère que la fibre est un moyen de transmission important sur les réseaux dans le monde des communications, même si elle contient de nombreux défauts tels que la dispersion chromatique et l'atténuation.

Nous aborderons le prochain chapitre pour étudier les réseaux optiques et leurs différents types.

Chapitre II :
Les réseaux optiques

1.Introduction

Les réseaux optiques sont d'une importance croissante dans le monde des communications qui sont utilisées par les fibres optiques, qui sont considérées comme l'un des réseaux les plus rapides utilisés dans les communications de données. Comme le signal de données est transmis par des fibres optiques sous la forme d'impulsions lumineuses qui sont collectées à l'aide technologie de multiplexage.

Dans ce chapitre, nous présenterons le concept général de réseau optique basé sur plusieurs techniques optique , y compris la technologie OFDM-PON(Orthogonal Frequency Division Multiplexing -Passive Optical Network) .

2. Réseaux sur fibres optiques

2 .1.Structure des réseaux

Un réseau est un ensemble d'équipements reliés entre eux, grâce à des lignes physiques (câble, fibre optique,) ou des ondes hertziennes dans le but d'échanger des donnés selon des règles (protocoles) biens définies. Si le lien est physique (câble, fibre,) le réseau est dit fixe. Si le lien est sous forme d'ondes hertziennes, on parle de réseau sans fil. On distingue un réseau d'un autre selon le nombre d'éléments qui le constituent, sa disposition géographique, et le (les) protocole (s) qu'il utilise.

Généralement, on distingue trois types de réseau fixe : le réseau local (LAN), le réseau métropolitain (MAN), le réseau longe distance (WAN). Les caractéristiques des trois types de réseau fixe sont résumées dans le tableau ci-dessous :[9]

	Réseau LAN	Réseau MAN	Réseau WAN
Nombre d'éléments	Un ensemble d'équipements, appartenant à une même sociétés.	Interconnecté plusieurs LANs.	Interconnecté plusieurs LANs ou MANs.
Dispersion géographique	Les machines sont situées sur un prémètre géographiquement restreint.	Réseau LANs géographiquement proches.	Très grandes distances.
Protocoles utilisés	Ethernet, Token Ring, FDDI, etc.	FDDI, ATM, SDH, etc.	SDH, SONET, WDM, etc.

TableauII .1 : Résumé des réseaux [9]

2.2 .Les réseaux de télécoms par fibres optiques :[13]

Les réseaux de télécoms par fibres optiques : Comme nous venons de le rappeler, il existe trois catégories de réseaux optiques présentées sur la figure II.1 ci-dessous. Les liens sont des câbles constitués de plusieurs fibres optiques.

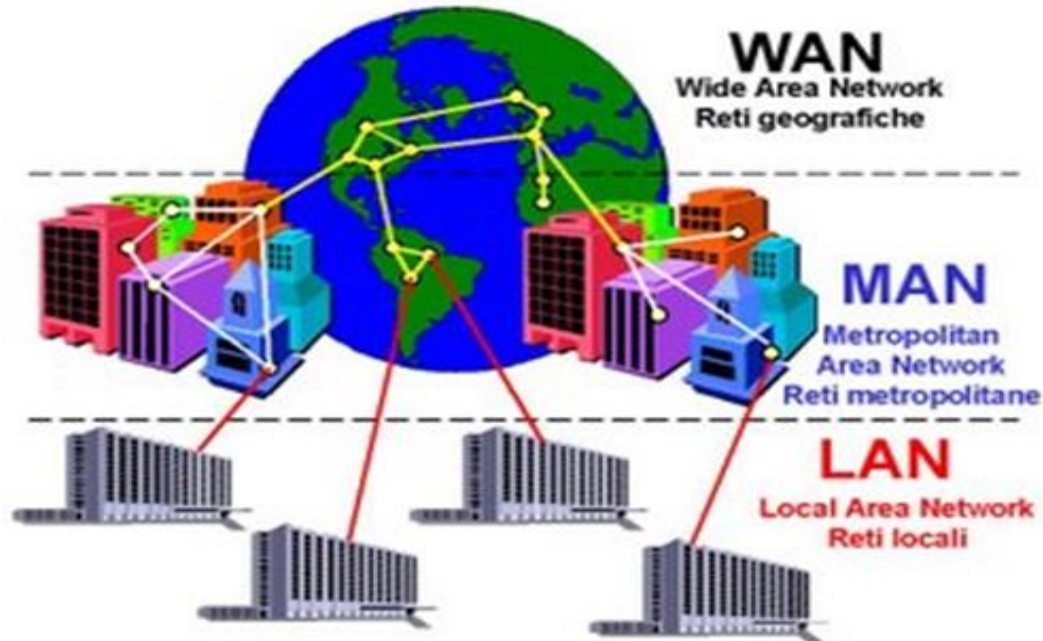
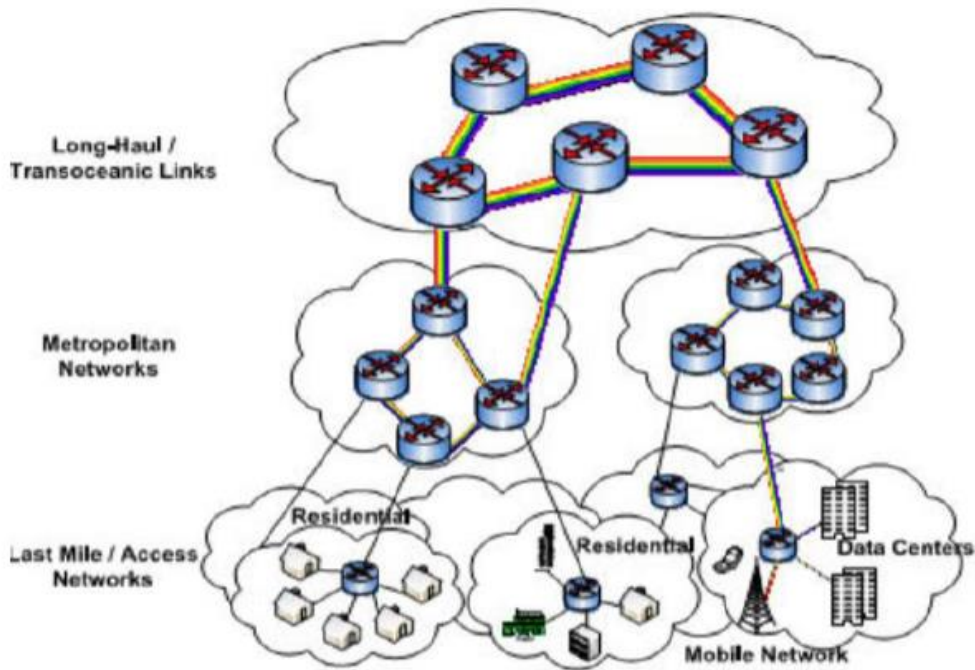


Figure II.1 : Différents types de réseau public[13]

2 .3. Les types des réseaux

Selon la nature du réseau dans lequel il se situe, le système optique peut légèrement différer. Les caractéristiques de ces trois niveaux de réseaux sont donc brièvement présentées. [1]



FigureII- 2: Architecture typique du réseau optique [20]

2.3.1. Le réseau longue distance (WAN)

Le réseau étendu ou longue distance (WAN, Wide Area Network) Il est déployé à l'échelle d'un pays ou d'un continent, et ses nœuds sont de très grands centres urbains.[13]

Ce type de système :

- Comprend des systèmes terrestres ou sous-marins ;
- Véhicule des données à grande vitesse sur des longues distances de plus de 100 km ;
- Peut utiliser des répéteurs pouvant régénérer le signal optique. Ces répéteurs sont constitués par des régénérateurs optoélectroniques 3R (Retiming, Reshipping, Regenerating) et par des amplificateurs optiques.

✚ a) Les réseaux terrestres :

- Ont une dimension de quelques centaines de km et relient des grands centres urbains, reliés par des multiplexeurs d'insertion extraction ;

- Utilisent une topologie propre au SDH(Hiérarchie Numérique Synchronne) avec des boucles en double anneau permettant en cas de panne d'un anneau de diriger les signaux sur l'autre ;

- Sont flexible vis-à-vis de la demande ; actuellement à 2.5 Gb/s, ils peuvent être augmentés, à l'aide du DWDM sur N canaux, à $N \times 2.5$ Gb/s ou $N \times 10$ Gb/s.

b) Les réseaux sous-marins :

- Peuvent atteindre plusieurs milliers de km;
- Peuvent aussi relier des îles ou des pays d'un même continent. De plus, il est moins coûteux de poser des câbles sous-marins que des câbles enterrés ;

- Utilisent la 3ième fenêtre de la fibre optique à $\lambda=1,55$ nm où l'atténuation est la plus faible

- Les liaisons transocéaniques plus anciennes sont de type point-à-point ; dans les systèmes les plus modernes on adopte la structure en anneau de façon à pouvoir réorienter les signaux en cas de défaillance d'une voie.[13]

2.3.2.Le réseau métropolitain (MAN)

Encore appelé réseau intermédiaire, le réseau métropolitain connaît en ce moment un véritable essor. Déployé entre le dernier autocommutateur à autonomie d'acheminement du réseau longue distance et une zone plus précise (arrondissement, campus, petite ville, ...), il possède un environnement souvent très complexe et divers. Fondamentalement, on peut distinguer les réseaux métropolitains structurants et métropolitains d'accès[1]

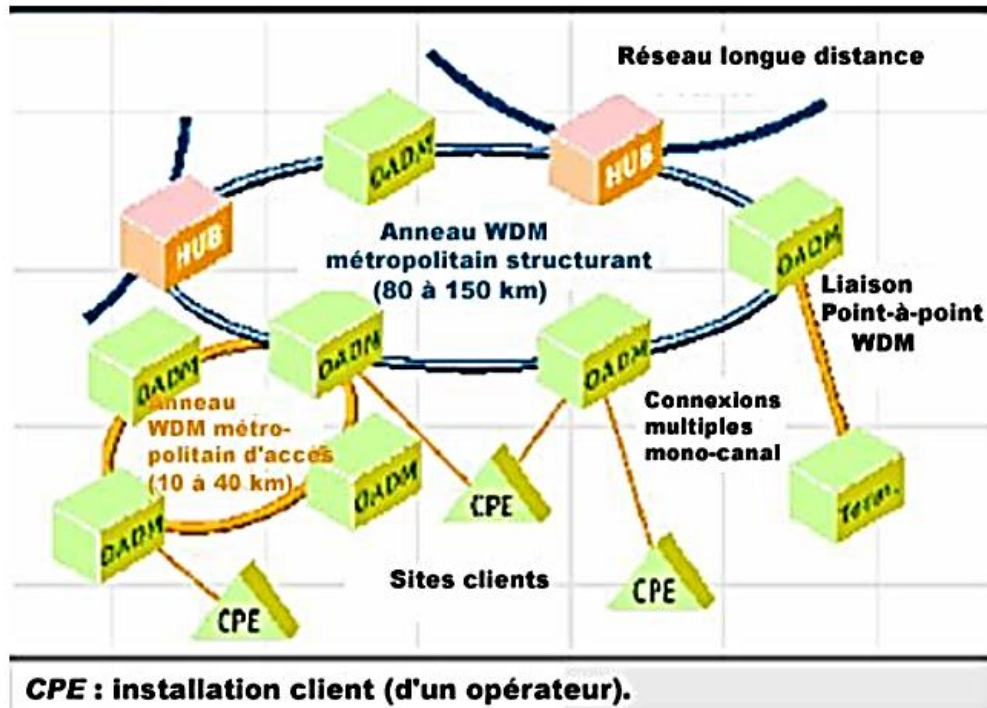


Figure II.3 : Réseau métropolitain structurant et réseau métropolitain d'accès [1].

C'est un réseau qui dessert une grande ville et ses environs. Ce type de réseau :

- A une longueur qui varie entre 1 à 100 km;
- Est de type récent, en constante évolution et croissance ;
- A un grand degré de connectivité ;
- Utilise des anneaux métropolitains qui se caractérisent généralement par un trafic maillé avec un certain degré de concentration lié à l'interconnexion avec le réseau longue distance. Les anneaux d'accès collectent en général le trafic de plusieurs nœuds pour le concentrer vers un nœud partagé avec un réseau métropolitain structurant ;
 - Doit, à la différence du réseau longue distance, prendre en charge des formats, des protocoles et des débits de transmission très divers ;
 - Mêlent les trafics de la hiérarchie numérique synchrone (SDH) ou autre encore. Les amplificateurs optiques sont essentiels pour les applications de ce type de réseau ;
 - Est souvent équipé par des cartes transpondeurs multi-débits universelles, acceptant n'importe quel débit de 100 Mb/s à 2.5 Gb/s ;

- Utilise le DWDM, offrant les mêmes avantages que les systèmes à longues distances ;
- Les distances étant plus faibles, nécessite moins d'amplificateurs optiques, ce qui permet d'étendre la bande spectrale au-delà des amplificateurs EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) et réduit les problèmes de dispersion [13].

2.3.4. Le réseau local (LAN)

Aussi appelé réseau d'accès ou de desserte, ce réseau :

- A une longueur qui varie de 2 à 70 m ;
- Est constitué par une partie en fibre entre l'autocommutateur et la terminaison de réseau optique suivie d'une partie en conducteur métallique qui va jusqu'au terminal de l'abonné. L'optique entre désormais dans les réseaux de desserte grand public, on parle de FTTx (Fiber To The ..., « fibre jusqu'à ... ») : quartier (FTTN, pour Neighborhood), au pied d'immeuble (FTTB, pour Building), au domicile (FTTH, pour Home). Le réseau FTTx peut être point-à-point ou point multipoint, actif ou passif. Les architectures sont dites passives ou actives, selon la présence ou l'absence d'équipements actifs entre le site central de l'opérateur et les points de desserte. À titre d'exemple nous présentons les schémas de déploiement du réseau FTTH [13].

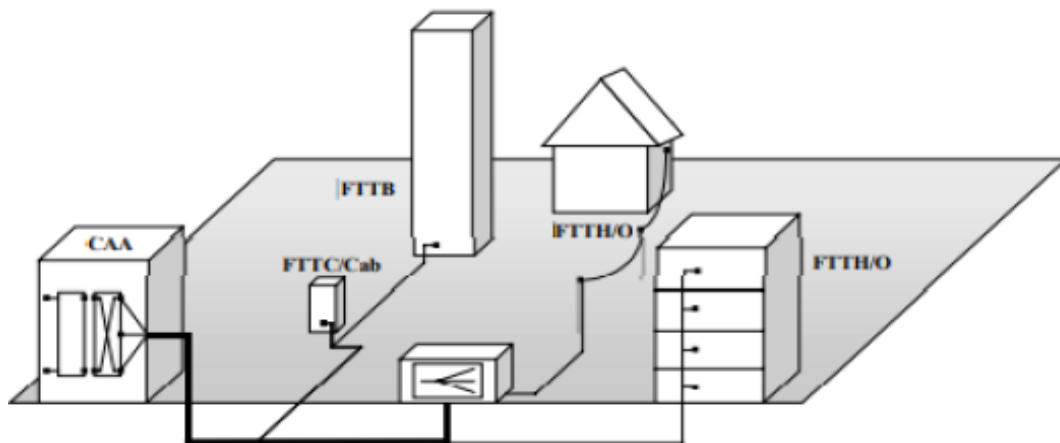


Figure II .4 : Le réseau local [1]

3. Multiplexage dans les liaisons optiques :

Les fibres optiques possèdent, dans la fenêtre spectrale généralement utilisée, une bande utilisable très importante (environ 15 THz autour de la longueur d'onde 1,55 μm).

Théoriquement, les débits qui peuvent être transmis sont donc extrêmement élevés. C'est d'autant plus intéressant qu'aujourd'hui le nombre et la taille des informations échangées sont de plus en plus importants. Néanmoins, actuellement, le traitement électronique des signaux électriques avant modulation et après détection n'atteint pas de telles fréquences. C'est pourquoi diverses solutions ont été imaginées pour profiter des capacités de la fibre optique et donc augmenter le transfert d'informations sur un même canal. Dans la plupart des cas, le principe reste identique : utiliser N signaux au débit D équivalent en terme de capacité à un signal au débit $N \cdot D$, irréalisable à l'heure actuelle. C'est ce qu'on appelle le multiplexage, et les débits transportés seraient désormais plus importants. Le signal concentré des flux d'origines diverses est appelé signal multiplex. Pour conserver l'intégrité de chaque signal sur le canal, le multiplexage introduit, entre les signaux, une séparation temporelle, spatiale ou fréquentielle.[1]

3.1. Le multiplexage temporel optique (OTDM) :

Le multiplexage temporel (Time Division Multiplexing) consiste à allouer toute la bande de fréquence à tous les utilisateurs, mais uniquement de manière séquentielle, à tour de rôle pour chacun d'entre eux (Figure I.I.5). L'axe de temps est divisé en périodes fixes et égales appelées 'Time Slots'. Chaque utilisateur transmet ses données dans le Time Slot qui lui est consacré. Le multiplexage en TDM (Time Division Multiplexing) permet alors de regrouper plusieurs canaux de communications à bas débit en un seul canal à un débit N fois plus élevé, N étant le nombre d'utilisateurs dans le système.

À la base, la technique de multiplexage temporel a été utilisée pour les systèmes électriques

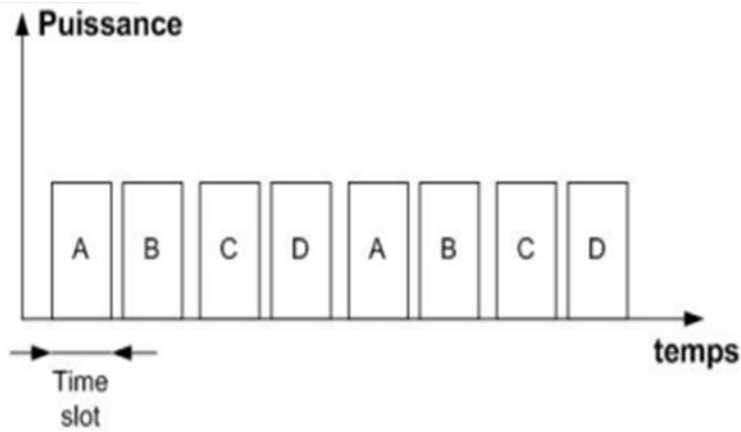


Figure II.5 : Diagramme de multiplexage temporel des données.[16]

Une chaîne de transmission en OTDM est composée des éléments suivants (Figure II.6) :

Une source optique générant le train de pulses optiques nécessaire au système OTDM.

Un système de multiplexage qui code les données des utilisateurs du domaine électrique au domaine optique avant de les multiplexer.

Le système de démultiplexage qui permet de récupérer les données propres à chaque utilisateur avant qu'elles ne soient converties à nouveau dans le domaine électrique.[16]

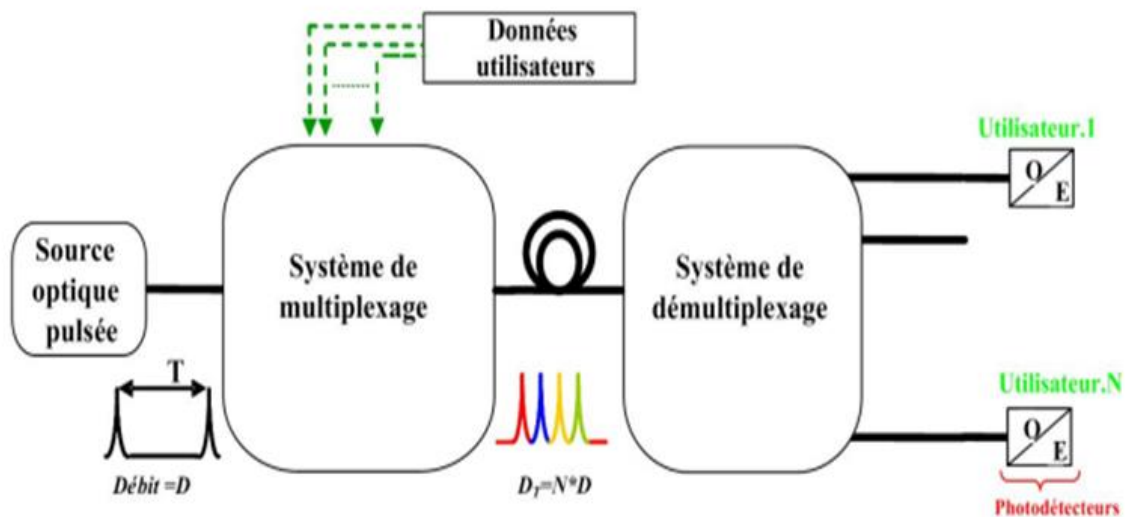


Figure II.6 : Chaîne de transmission en OTDM.[16]

3.2. Le multiplexage en longueur d'onde (WDM) :

Développés dans les années 1980, la technologie WDM (Wavelength Division Multiplexing) : Le multiplexage en longueur d'onde est une technique qui consiste à injecter simultanément sur une même fibre des signaux lumineux à des longueurs d'onde distinctes. La Figure II.7 montre Diagramme d'une liaison par multiplexage en longueurs d'onde. [16][17]

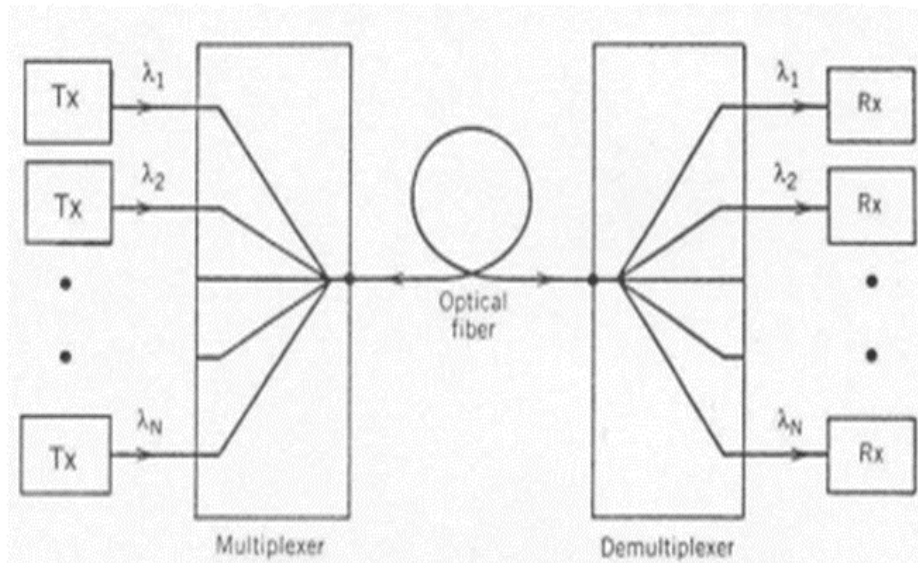


Figure II.7 : Diagramme d'une liaison par multiplexage en longueurs d'onde. [16]

La figure Figure II.8 nous montre un système classique basé sur la technique WDM (Wavelength Division Multiplexing). A l'émission, on multiplexe N canaux au débit nominal D, à la réception, on démultiplexe le signal global N x D en N canaux : la fibre transporte un multiple de N canaux ce qui est par conséquent équivalent en terme de capacité à N fibres transportant chacune un canal. Cette approche permet par conséquent d'augmenter la capacité d'un réseau de manière importante sans modifier son infrastructure physique. [17]

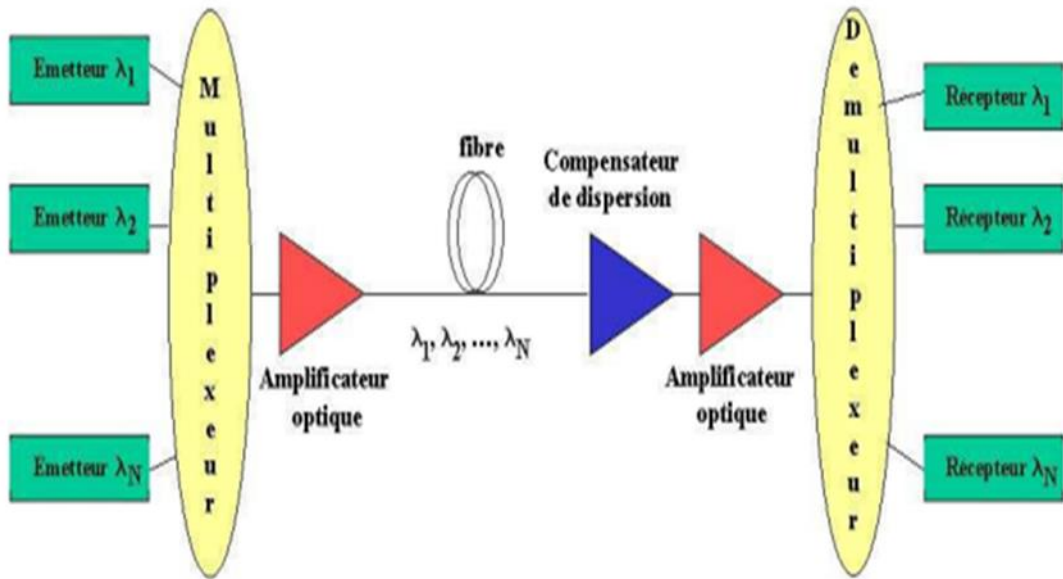


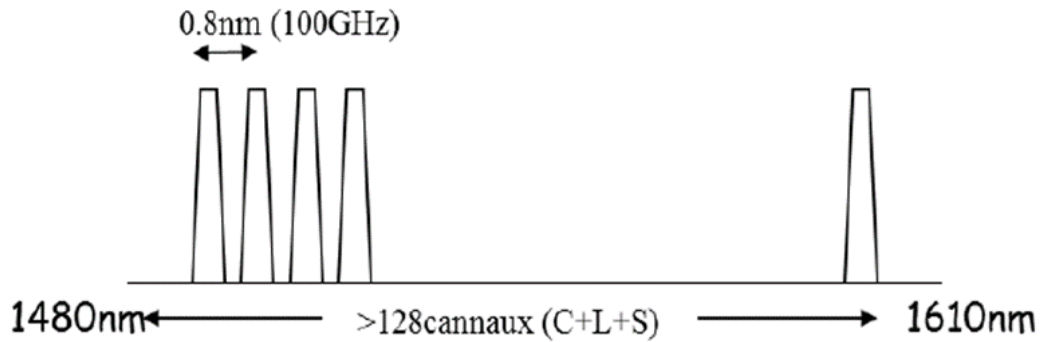
Figure II.8 : Principe d'une liaison WDM[17]

Le multiplexage WDM est caractérisé deux types:

. Le multiplexage WDM dense (DWDM):

On parle de Dense WDM lorsque l'espacement entre canaux est inférieur à 1.6nm. De ce fait, le nombre de canaux qui peuvent être véhiculés dans une fibre optique est important (jusqu'à 32 canaux sur la bande C et 128 sur l'ensemble des bandes: C, S et L. C'est pour ce type de liaison que l'engouement est le plus grand, le débit proposé étant très important.

Cependant la liaison DWDM nécessite une technologie très coûteuse. Il est nécessaire d'avoir des sources lasers et des récepteurs stabilisés en température, et des composants multiplexeurs/démultiplexeurs aussi stables que possible à cause du faible espacement entre canaux. Ce système est essentiellement utilisé pour le déploiement de réseau très longue distance.[11]



FigureII. 9: Exemple d'allocation en longueur d'onde pour le DWDM.[11]

. Le multiplexage de canaux largement espacés (Coarse WDM):

On parle de CWDM lorsque l'espacement entre les canaux est important, soit 10 nm ou 20nm. Le nombre de canaux disponibles sur la bande C n'est plus que de 4 ou 8 au maximum. Par contre pour chaque canal ayant une bande plate suffisamment large, il n'est plus nécessaire d'utiliser des composants émetteurs et récepteurs stabilisés en température. Ceci réduit considérablement le coût. Ce système est adapté aux réseaux d'accès et métropolitain qui nécessitent un grand nombre de composants et relativement peu de bande passante.[11]

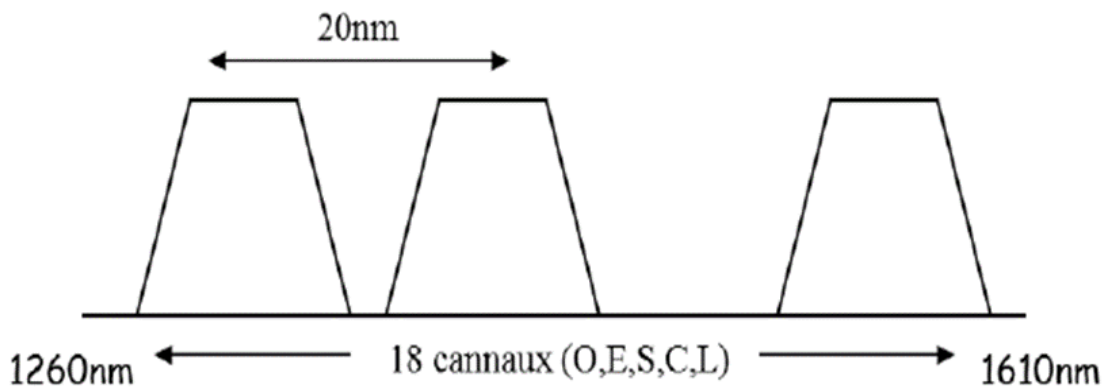


Figure II.10 Exemple d'allocations en longueur d'onde pour le CWDM.[11]

3.3.La technique OFDM

L'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technique de transmission ayant pour objectif de répartir sur un grand nombre de porteuses le signal numérique que l'on souhaite émettre (figure II.11)[15].

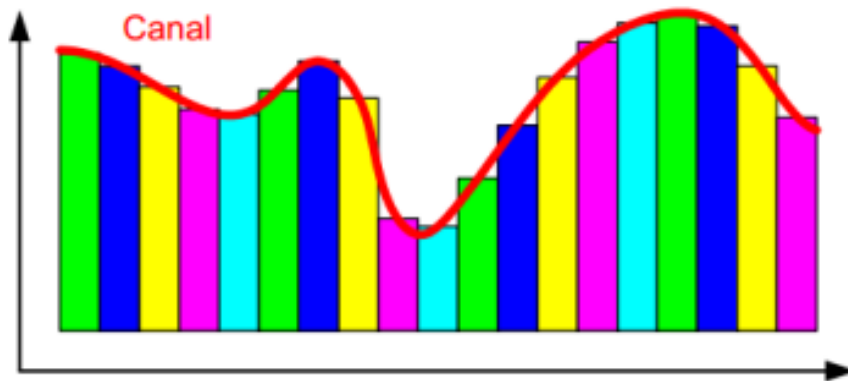


Figure II.11 : Répartition fréquentielle des porteuses[15]

4.Réseaux optiques passifs et fibre optique vers la maison :

Les réseaux d'accès, qui relient les utilisateurs finaux aux fournisseurs de services de télécommunications, sont communément appelés les réseaux du dernier kilomètre. Afin de répondre aux besoins d'une grande variété d'applications utilisateur, les réseaux d'accès doivent être flexibles en termes de capacité et de format de signal. En même temps, les réseaux d'accès doivent également être peu coûteux et nécessiter peu d'efforts de maintenance afin qu'ils puissent être possédés ou au moins partiellement détenus et entretenus par le consommateur. Historiquement, la voix avec une bande passante analogique de 4 kHz est le principal service depuis de nombreuses années grâce à des fils téléphoniques en cuivre tordu.

La ligne d'abonné numérique (DSL) est ensuite introduite pour prendre en charge le canal vocal numérisé à un débit de données de 64 kb/s, connu sous le nom de DS₀. Avec l'introduction et la croissance rapide d'Internet, la demande de données augmente considérablement, et la large bande.

DSL basé sur le multiplexage par division de fréquence (FDM) avec modulation multi-tonalité discrète (DMT) a été utilisé pour augmenter la capacité de transmission et réduire les altérations de fils de cuivre torsadés. Dans le même temps, la télévision par câble (CATV) est un autre moteur de la demande d'accès à large bande. Diffusion

CATV avec un grand nombre de canaux FDM peut avoir besoin jusqu'à 1GHz de bande passante. De nos jours, le trafic Internet a été extrêmement diversifié, y compris les vidéos numériques, la téléconférence, les jeux et le téléchargement et le téléchargement de données à haute vitesse. La demande de bande passante sur les réseaux d'accès ne peut plus être traitée par des fils de cuivre tordus dans de nombreuses circonstances, et donc le réseau d'accès à fibre optique devient le meilleur choix.

PON est un réseau d'accès à la fibre dans lequel des répartiteurs optiques passifs sont utilisés pour permettre la communication entre le terminal de ligne optique (OLT) dans le bureau central du fournisseur de services et plusieurs utilisateurs de réseau, connu sous le nom d'unités de réseau optique (ONU).

L'avantage le plus important de l'utilisation de PON comme réseau de distribution optique (ODN) est l'élimination des appareils et équipements actifs extérieurs. Bien que la zone de couverture soit généralement plus petite que les réseaux d'accès qui impliquent des composants actifs, les NPE (Network Protection Equipment) ont généralement un coût inférieur, sans avoir à s'asseoir dans une pièce, et sont donc faciles à entretenir. La distance de transmission d'un PON est généralement inférieure à 20 km. [6]

4.1.TDM-PON :

La configuration TDM-PON illustrée à la Figure II .12est la configuration PON la plus populaire. Pour le trafic en aval, OLT diffuse des trames de données entrelacées dans le temps comme un flux de trafic continu vers toutes les IUN(Influencer Outreach Network) , et chaque ONU(Optical Network Units) sélectionne les paquets désirés dans chaque trame avec un temps de répétition t_f qui est généralement $125\mu s$. Cette sélection est basée sur les octets d'adresse d'en-tête associés aux paquets de données intégrés dans le cadre. Statistiquement, le taux de paquets de données en aval adressés à chaque ONU est inversement proportionnel au temps de répétition des trames t_f , et aussi inversement proportionnel au nombre d'ONUs en raison du partage du temps. Cependant, le taux de paquets réel de chaque ONU peut changer dynamiquement parce que le nombre de paquets adressés à différentes ONUs dans un cadre particulier peut varier en fonction de la demande dynamique de chaque utilisateur. En outre, l'OLT peut aussi multidiffuser

simultanément les mêmes paquets à plusieurs ONUs. Dans ce cas, le taux de paquets pour chaque ONU peut être significativement supérieur à $1/t_f$. [6]

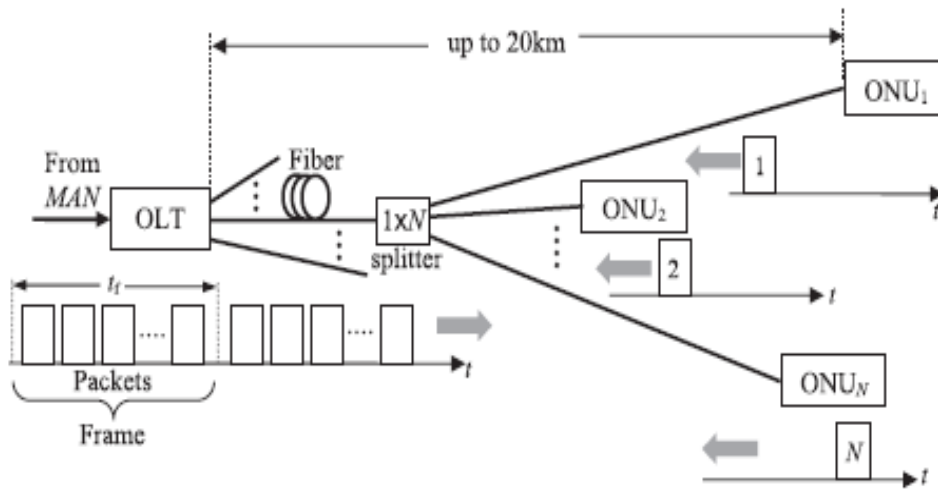


Figure II .12:Illustration de TDM-PON et planification de la frame. [6]

4.2.WDM-PON :

InTDM-PONbasé sur le partage de temps, le taux de paquets de chaque utilisateur doit être réduit avec l'augmentation des OTU(One Time Passcode). À l'instar du concept de multiplexage par répartition en longueur d'onde (WDM) dans les réseaux optiques longue distance et métropolitains, l'application de WDMinPON permet d'augmenter considérablement la capacité du réseau. Utilisation de l'infrastructure TDM-PON existante basée sur la longueur d'onde. [6]

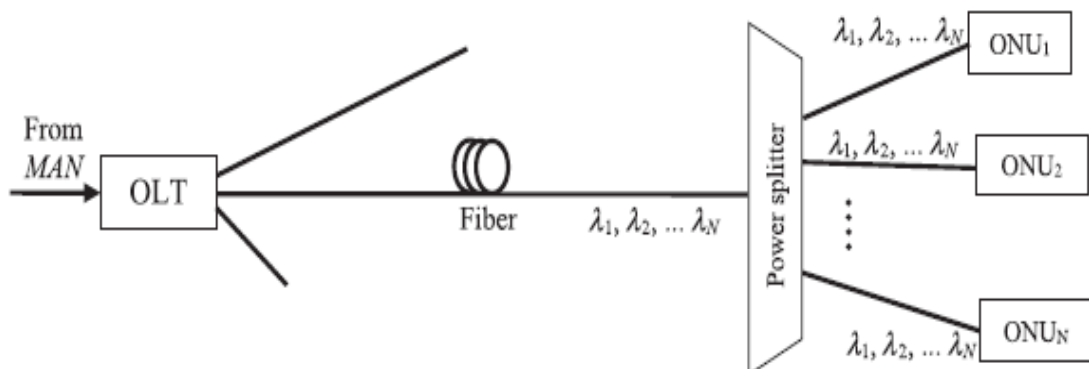


Figure II .13: Configuration d'un WDM-PON basé sur l'infrastructure TDM-PON, (c'est-à-dire un séparateur de puissance indépendant de longueur d'onde). [6]

4.3.OFDM-PON :

4.3.1.Modulation multiporteuse et OFDM :

Transmission numérique via des canaux non idéaux. Dans ces canaux provoquent un chevauchement entre les codes lorsqu'il est à l'envers. La vitesse du système est beaucoup plus faible que la dispersion temporelle (durée de l'impulsion. réponse) au canal non idéal. Dans ce cas, un égaliseur de canal est utilisé au récepteur pour compenser la distorsion de canal. Si le canal est un canal passe-bande avec une largeur de bande spécifiée, le signal porteur d'information peut être généré à la bande de base puis traduit en fréquence à la bande de passe du canal. Ainsi, le signal porteur d'information est transmis sur un seul support. Nous avons également observé que l'interférence intersymbol entraîne habituellement une certaine dégradation des performances, même dans le cas où le détecteur optimal est utilisé pour récupérer les symboles d'information au récepteur. Une approche alternative à la conception d'un système de communication efficace en bande passante en présence de distorsion de canal consiste à subdiviser la bande passante disponible en un certain nombre de sous-canaux à largeur de bande égale, lorsque la bande passante de chaque sous-canal est suffisamment étroite pour que les caractéristiques de réponse en fréquence des sous-canaux soient presque idéales. La figure II.14 illustre une telle subdivision de la largeur de bande globale en sous-canaux plus petits. Ainsi, nous créons des sous-canaux $K = W/\Delta f$, où différents symboles d'information peuvent être transmis simultanément dans les sous-canaux K . Par conséquent, les données sont transmises par multiplexage par division de fréquence (FDM).

Avec chaque sous-canal, nous associons un transporteur

$$x_k(t) = \sin 2\pi f_k t, \quad (8) \quad k = 0, 1, \dots, K - 1 \quad (9)$$

Où f_k est la moyenne fréquence dans le sous-canal k_{th} . En sélectionnant le taux de symbole $1/T$ sur chacun des sous-canaux pour être égal à la séparation Δf des sous-porteuses adjacentes, les sous-porteuses sont orthogonales sur l'intervalle de symbole T , indépendamment de la relation de phase relative entre les sous-porteuses ; i .e.,

$$\int_0^T \sin(2\pi\mathcal{F}_k t + \phi_k) \sin(2\pi\mathcal{F}_j t + \phi_j) dt = 0 \quad (10)$$

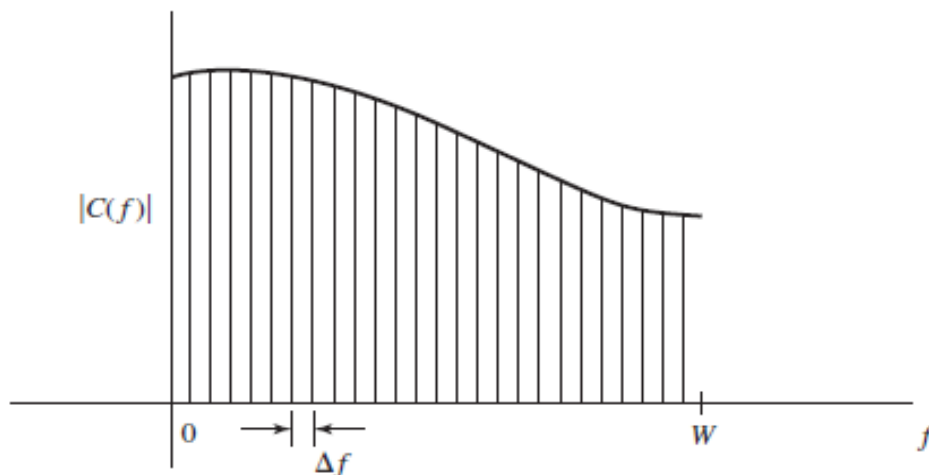


Figure II.14 :Subdivision de la largeur de bande du canal W en sous-canaux à bande étroite de largeur égale Δf .[19]

Où $f_k f_j = n/T$, $n = 1, 2, \dots$, indépendamment des valeurs des phases ϕ_k et ϕ_j . Dans ce cas, nous avons le multiplexage orthogonal par division de fréquence (OFDM).

Avec un système OFDM ayant des sous-canaux K , le taux de symboles sur chaque sous-porteuse est réduit d'un facteur de N par rapport au taux de symboles sur un système à transporteur unique qui utilise toute la bande passante W et transmet les données au même rythme que OFDM. Par conséquent, l'intervalle de symboles dans le système OFDM est $T = K T_s$, où T_s est l'intervalle de symboles dans le système mono-porteur. En sélectionnant K pour être suffisamment grand, l'intervalle de symbole T peut être significativement plus grand que la durée de la dispersion canal-temps. Ainsi, le brouillage intersymbol peut être réduit arbitrairement par la sélection de K . En d'autres termes, chaque sous-canal semble avoir une réponse de fréquence fixe $C(f_k)$, $k = 0, 1, \dots, K-1$.

Tant que nous maintenons la synchronisation temporelle entre les sous-porteurs, OFDM

Permet de transmettre un nombre différent de bits/symboles sur chaque sous-porteuse. Par conséquent, les sous-porteuses qui produisent un SNR plus élevé en raison d'une atténuation plus faible peuvent être modulées pour transporter plus de

bits/symbole que les sous-canaux qui produisent un SNR plus faible (atténuation élevée). Par exemple, un QAM avec différentes tailles de constellation peut être utilisé dans un système OFDM.

Le modulateur et le démodulateur d'un système OFDM peuvent être mis en œuvre par l'utilisation d'une banque parallèle de filtres basée sur la transformée discrète de Fourier (DFT). Lorsque le nombre de sous-canaux est important, disons $K > 25$, le modulateur et le démodulateur d'un système OFDM sont efficacement mis en œuvre par l'utilisation de l'algorithme de transformation rapide de Fourier (FFT) pour calculer la DFT (Discrete Fourier Transform). Ensuite, nous décrivons un système OFDM dans lequel le modulateur et le démodulateur sont mis en œuvre en fonction de l'AFD (Distribution automatique des fichiers).

Un problème majeur avec la modulation multi porteuse en général et le système OFDM En particulier, le rapport de puissance (PAR) élevé qui est inhérent à la signal transmis. De grands pics de signal se produisent dans le signal transmis lorsque les signaux dans les sous-canaux K ajoutent constructivement en phase. De tels pics de signal peuvent saturer l'amplificateur de puissance de l'émetteur et, par conséquent, provoquer une distorsion de l'intermodulation dans le signal transmis. La distorsion d'intermodulation peut être réduite et, en général, évitée en réduisant la puissance du signal transmis et, ainsi, en actionnant l'amplificateur de puissance à l'émetteur dans la plage linéaire. Une telle réduction de puissance entraîne un fonctionnement inefficace du système OFDM.[19]

4 .3.2.Modèle théorique du système OFDM [21]

La figure 1 illustre le système de transmission OFDM considéré dans le présent document, qui consiste en un émetteur OFDM, une liaison SMF sans amplification optique en ligne et compensation de dispersion chromatique et un récepteur OFDM. L'émetteur OFDM est composé d'un modem OFDM électrique, d'un DML et d'un atténuateur optique variable (VOA). Le récepteur OFDM dispose d'un détecteur de photons en carré, d'un filtre passe-bas électrique (LPF) et d'un modem OFDM électrique.

. Émetteurs-récepteurs OFDM[21]

Dans l'émetteur, la génération d'un signal OFDM électrique dans le modem OFDM est modélisée selon la procédure présentée dans . Les principales opérations du modem comprennent le mappage de données utilisant 64-QAM, la transformée de Fourier inverse rapide (IFFT), l'insertion de préfixes cycliques, la sérialisation de symboles OFDM et la conversion numérique-analogique (DAC). Il convient également de souligner, en particulier, que, pour pré-compenser l'effet de roulis de réponse en fréquence induit par les composants optiques et électriques impliqués dans le système de transmission, une charge de puissance variable est appliquée aux sous-porteuses avant l'IFFT. Comme pour l'approche décrite dans , chaque puissance de sous-porteuse codée 64-QAM est d'abord normalisée à l'aide d'un facteur d'échelle commun, puis multipliée par un facteur de gain contrôlable pour obtenir des erreurs réparties uniformément entre tous les sous-porteuses d'un symbole. Après avoir amplifié/atténué le courant OFDM électrique à un niveau optimal, le signal OFDM électrique généré est ensuite combiné avec un courant CC optimal pour entraîner directement le laser DFB(Distribution Feedback). Enfin, le signal OFDM de sortie de la DML(Data Manipulation Language) est introduit dans un VOA pour fixer la puissance du signal optique lancé à un niveau optimal.

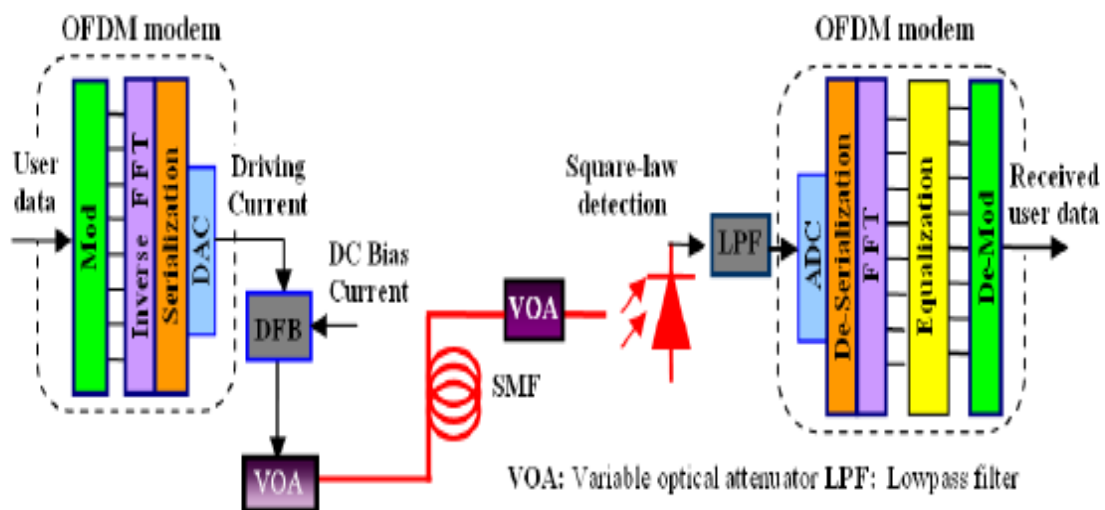


Figure II.15: Schéma du système de transmission avec les architectures de l'émetteur-récepteur OFDM.[21]

Après l'émission par la liaison SMF, le signal OFDM est d'abord atténué par un VOA puis détecté par un détecteur de photons en droit carré. Un LPF(Low-Pass Filter)

électrique est utilisé pour éliminer le bruit en dehors de la bande de signal OFDM utile. Le signal OFDM électrique reçu est finalement traité dans le modem OFDM récepteur avec une procédure inverse à celle adoptée dans le modem OFDM émetteur.

. DML [21]

Pour simuler les propriétés non linéaires de la DML à base de DFB, un modèle théorique de laser DFB regroupé développé dans est adopté, en tenant compte d'un large éventail d'effets non linéaires à savoir longitudinal-mode spatial trou-burning, recombinaison linéaire et non-linéaire ainsi que gain non-linéaire. On suppose que l'influence de la largeur de ligne du laser sur les performances de la liaison est négligeable. Une telle hypothèse vaut pour les systèmes de transport considérés ici . La validité du modèle DML a été vérifiée rigoureusement et utilisée avec succès.

. SMF(Single mode fiber), PIN(Numéro Identification Personnel)détecteurs et LPF [21]

Un modèle théorique standard de SMF utilisé avec succès dans est adopté ici, dans lequel les effets de perte, de dispersion chromatique et de dépendance de puissance optique de l'indice de réfraction sont pris en compte. L'effet du bruit de phase induit par la non-linéarité des fibres sur la conversion du bruit d'intensité est également inclus.

Un détecteur de photons en droit carré est utilisé dans le récepteur pour détecter les signaux optiques émergeant des systèmes de transmission. Le bruit de prise de vue et le bruit thermique sont considérés, qui sont simulés en suivant la procédure similaire à celle présentée.

Un LPF est considéré, qui a une amplitude et des réponses de phase semblables à celles employées dans les expériences en temps réel. Le LPF introduit la réponse en fréquence du système et la variation de phase en fonction de la fréquence au signal OFDM électrique reçu .

5.Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents types de réseaux optiques et nous avons également décrit les techniques de multiplexage de données que nous avons développées pour accélérer davantage d'informations. Nous avons également résumé Technologies d'accès optique détaillées de type PON, notamment les techniques de multiplexage par répartition dans le temps TDM-PON, multiplexage par répartition en longueur d'onde WDM-PON.

Le prochain chapitre sera consacré à la simulation optique à l'aide de la technologie OFDM-PON.

Chapitre III :
Résultats de simulation et
discussion

1.Introduction

Le but de ce chapitre est l'étude et la simulation d'une liaison optique en utilisant le multiplexage par OFDM destinée pour les réseaux PON. La liaison est composée d'un émetteur qui consiste en des données modulés par un modulateur OFDM. Le canal est une fibres optiques standard qui présente les effets de la perte et la dispersion chromatique. Quant au récepteur, un démodulateur OFDM est utilisé pour récupérer les données. L'évaluation de la qualité de transmission est assurée via l'étude du diagramme d'oeuil et la calcul de l'erreur par symbole.

2.structure de la liaison

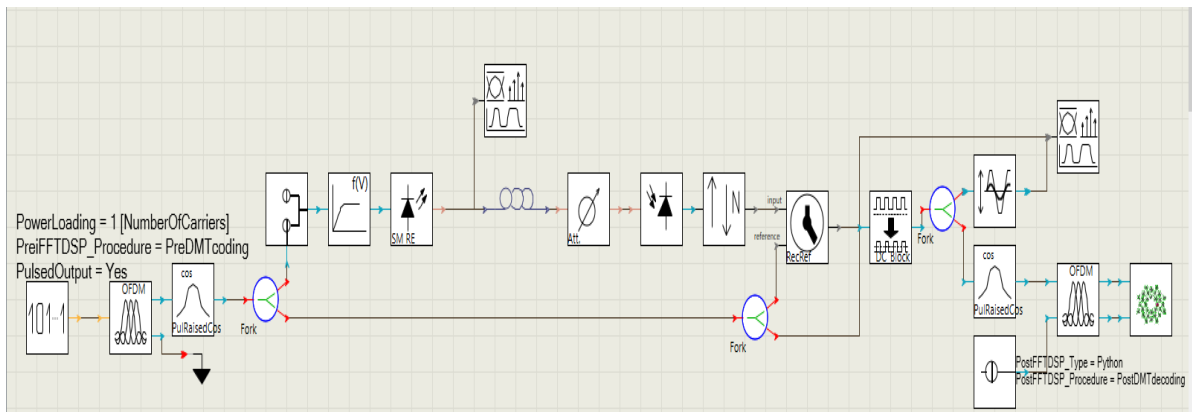


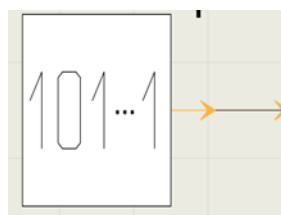
Figure III.1 :Structure Liaison OFDM –PON

La liaison OFDM-PON consiste en :

2.1.1.Emetteur

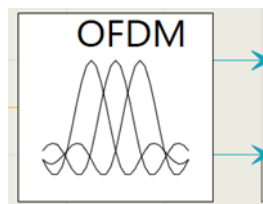
PRBS(Pseudorandom binary sequence)

Le module génère de nombreux types de séquences de données pseudo aléatoires, par exemple, les séquences PRBS



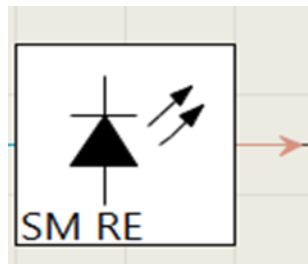
Codeur OFDM

Ce module génère des signaux électriques correspondant aux parties réelles et imaginaires d'un signal multiplexé à division de fréquence orthogonale (OFDM). Le signal généré peut être traité avant et après iFFT par des procédures DSP personnalisées avec une interface prédéfinie. Le multitone discret (DMT) et d'autres modulations peuvent être implémentés via la procédure DSP.



Laser

C'est un laser à semi-conducteur où nous avons utilisé dans la simulation : la fréquence ($193,1 \times 10^{12}$ Hz) et la puissance ($5,0 \times 10^{-4}$ W).



2.1.2. Canal

Fibre

C'est une fibre standard, Cette unité est modélisée par l'équation de Schrödinger non linéaire (NLS).

Les paramètres de fibre utilisés dans la simulation sont :

Length (40×10^3 m) Attenuation (0 db/m) ou ($0,2 \times 10^{-3}$ db/m), dispersion (16×10^{-6} s/m²) et non linéaire (0 m²/w) ou ($2,6 \times 10^{-20}$ m²/w)

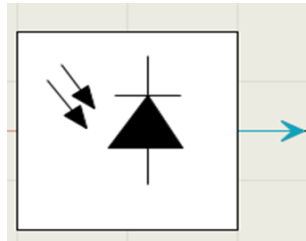


2.1.3. Récepteur :

Photodiode:

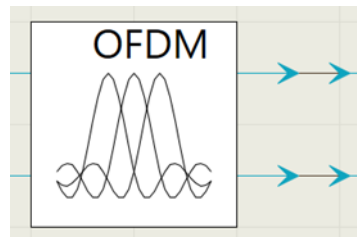
C'est un module qui permet la conversion signal optique vers électrique. Nous avons utilisé le type de Photodiode PIN.

Les différents paramètres de Photodiode utilisés dans la simulation sont : responsivité (1A/W), bruit thermique ($1 \times 10^{-12}\text{A/Hz}$)



Decodeur_OFDM

Ce module décode un signal OFDM (tel que celui généré par le module Codeur_OFDM).



3. Résultats de simulation :

Les diagrammes de constellation suivants sont représentés sur les images de symboles résultant de la modulation 16 QAM.

La source laser est sortie à une fréquence de $(193,1 \times 10^{-12}\text{Hz})$, comme le montre

3.1 Atténuation nulle

Nous avons étudié l'atténuation nulle sur la qualité de transmission de la liaison pour cela on a :

$$\alpha = 0\text{db/m} \quad , \quad n_2 = 0\text{m}^2/\text{w}$$

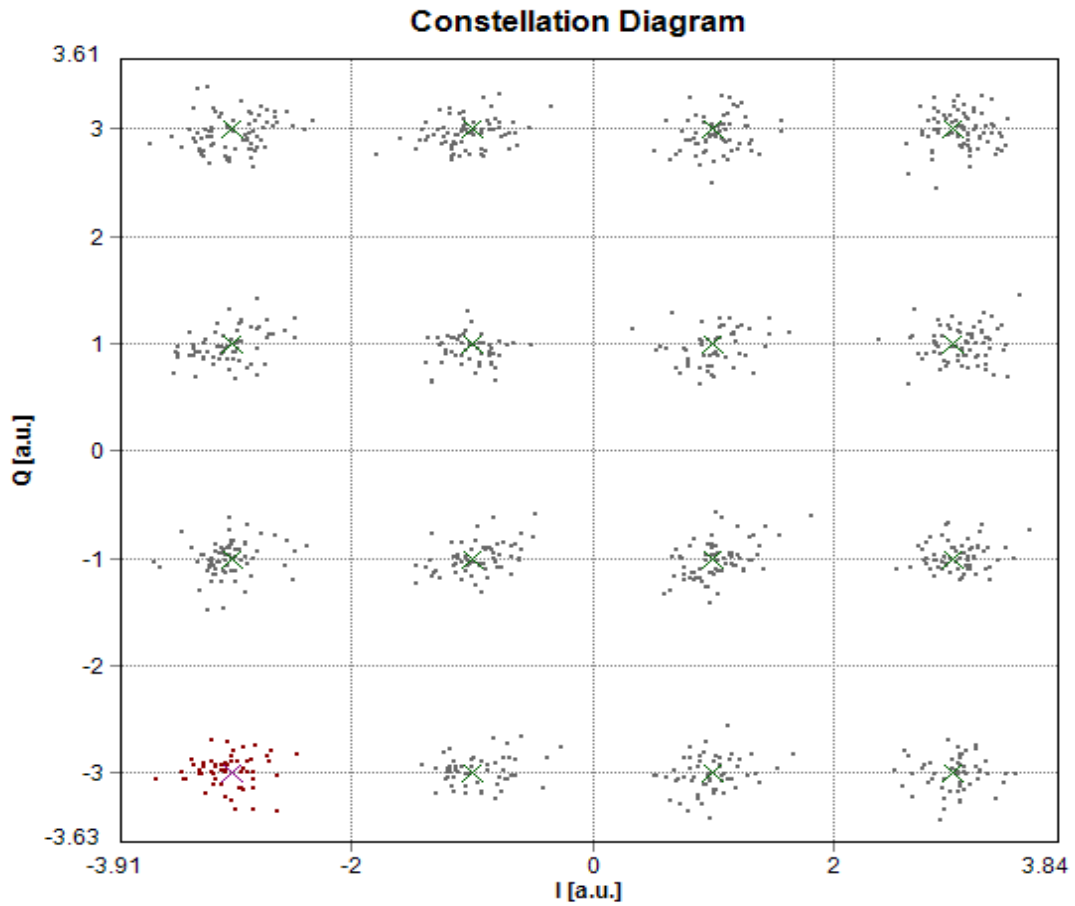


Figure III.2 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(2) en Atténuation null

On constate que dans la sous-porteuse 2, les points de collecte sont centrés autour du centre.

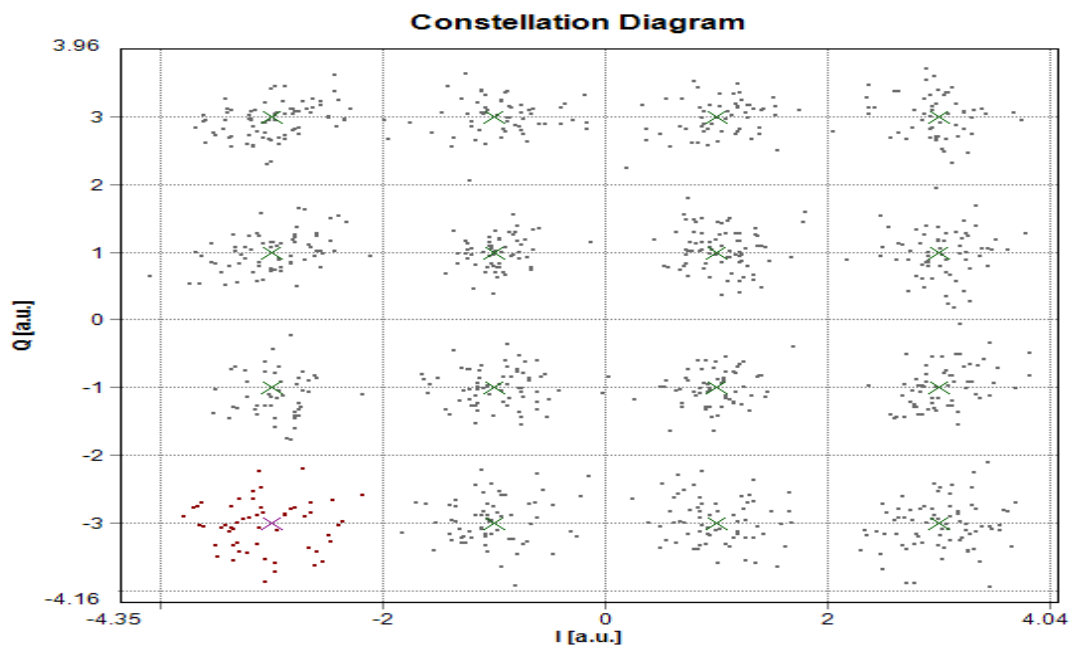


Figure III.3 :diagramme de constellation de la porteuse némuro(3) en Attenuation null

Notez que les points de la sous-porteuse 3, légèrement divergents .

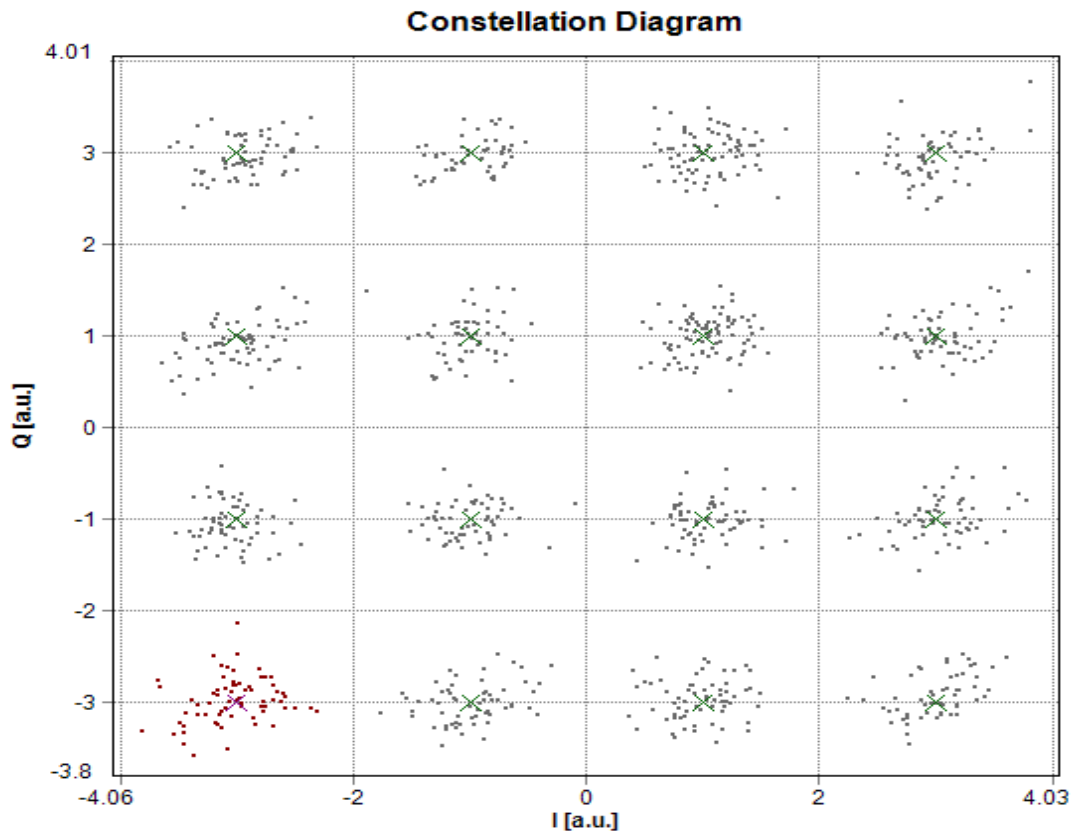


Figure III.4 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(4) en Attenuation null

Notez que les points de la sous-porteuse 4, divergeaient davantage .

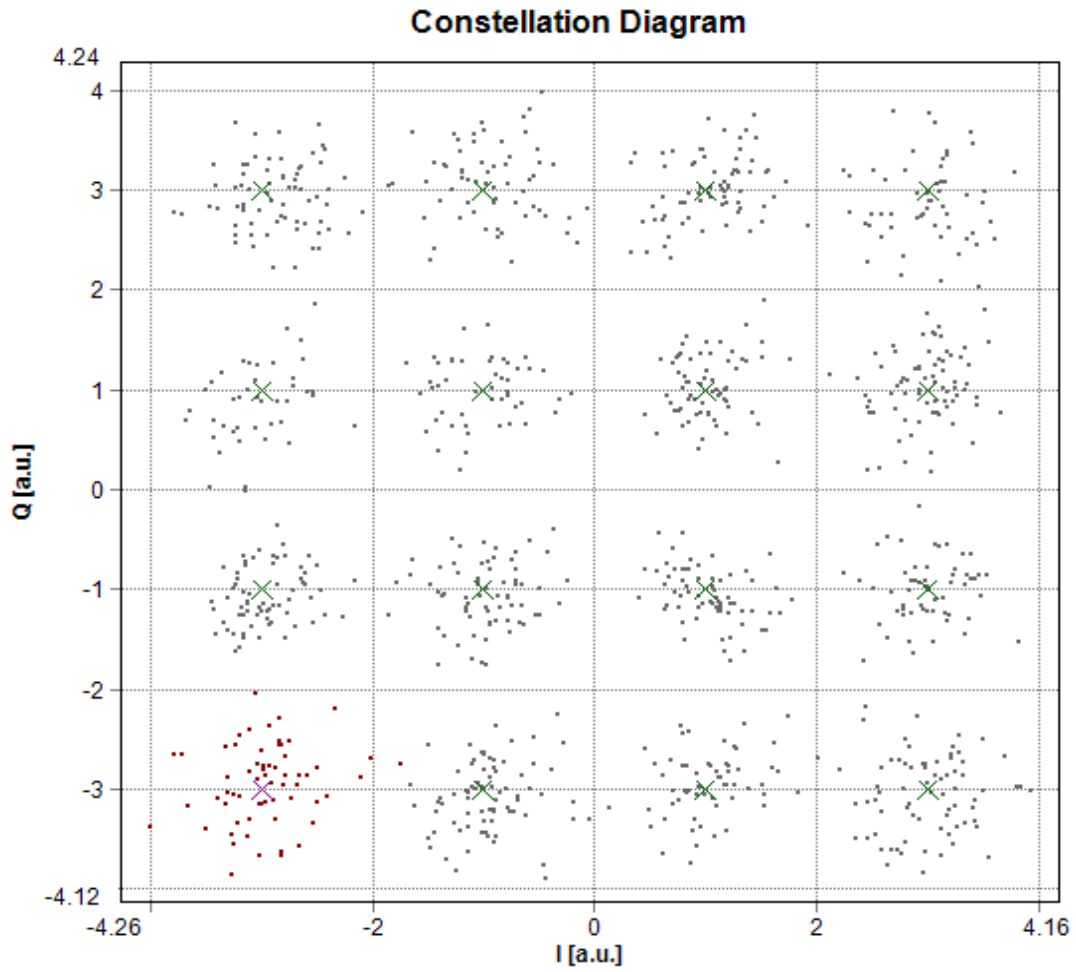


Figure III.5 :diagramme de constellation de la porteuse numé(5) en Attenuation null

Notez que les points dans sous-porteuse 5, divergeaient de plus en plus .

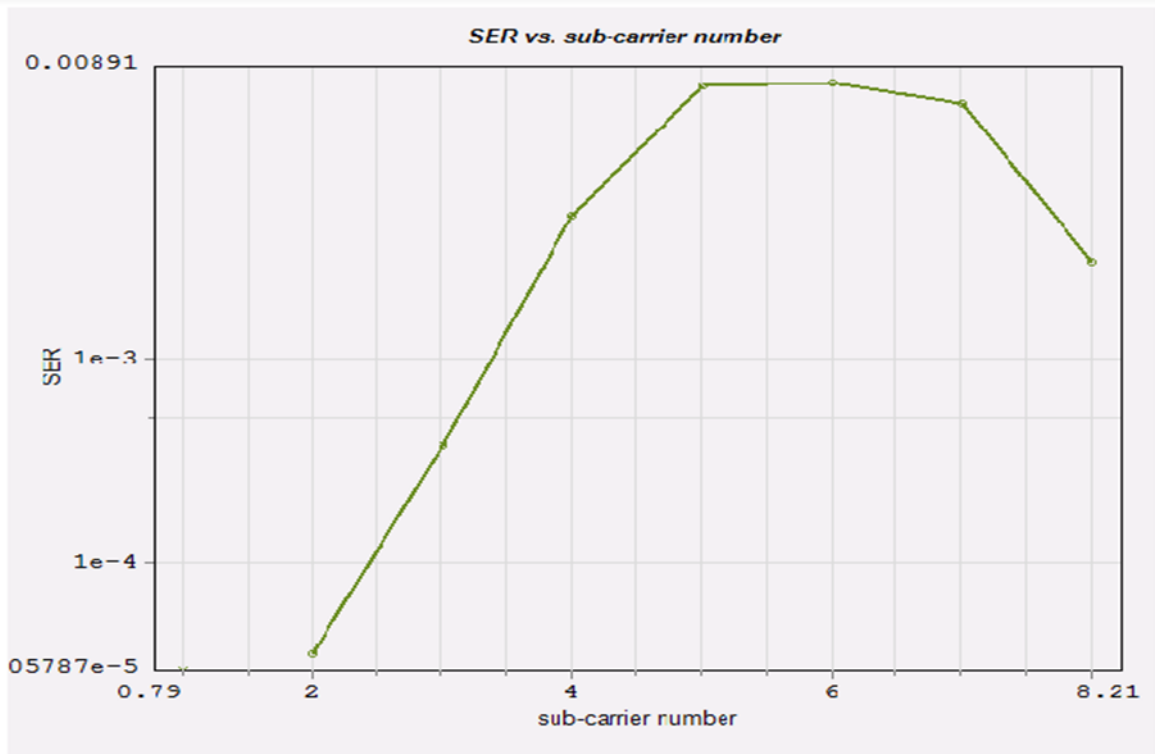


Figure III.6: la variation SER en fonction de porteuse pour atténuation 0 dB/kmet coefficient non lineaire 0 m²/w .

La Figure III.6 représente la variation SER en fonction de porteuse de némuo on remarque que SER augmente avec le numéro porteuse.

Où à porteuse 2 nous avons enregistré SER = 2.05787,après montre la valeur de SER augmente jusqu'à ce qu'elle diminue au sous-porteur 8,21.

3.2 L'effet Atténuation sur la qualité de transmission

Nous avons étudié L'effet de perte sur la qualité de transmission de la liasion pour cela on a :

$$\alpha=0.2 \times 10^{-3} \text{db/m} \quad , \quad n_2=0 \text{m}^2/\text{w}$$

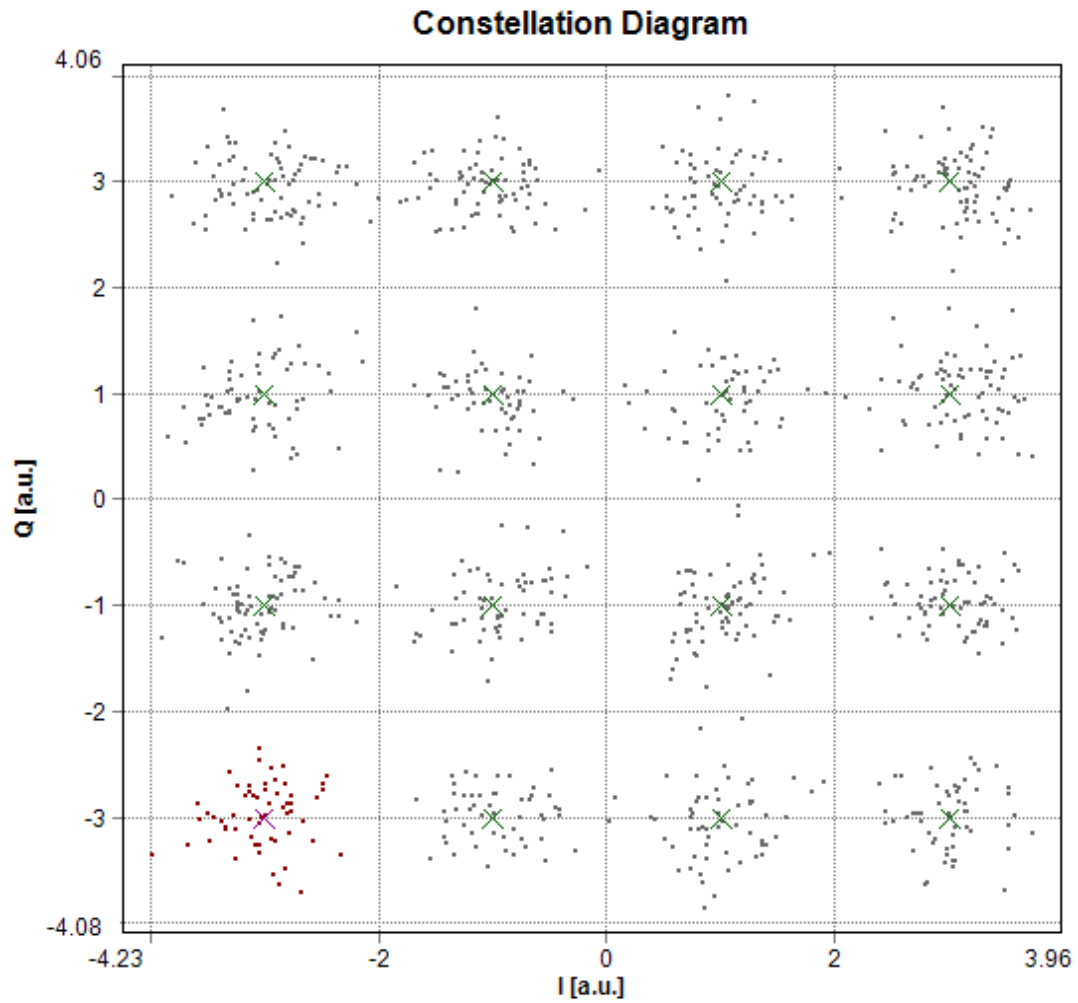


Figure III.7:diagramme de constellation de la porteuse numéro(2) en Attenuation 0.2×10^{-3} db/m et coefficient non lineaire $0m^2/w$

À la porteuse de némuro2, nous remarquons que les points d'assemblage sont centrés.

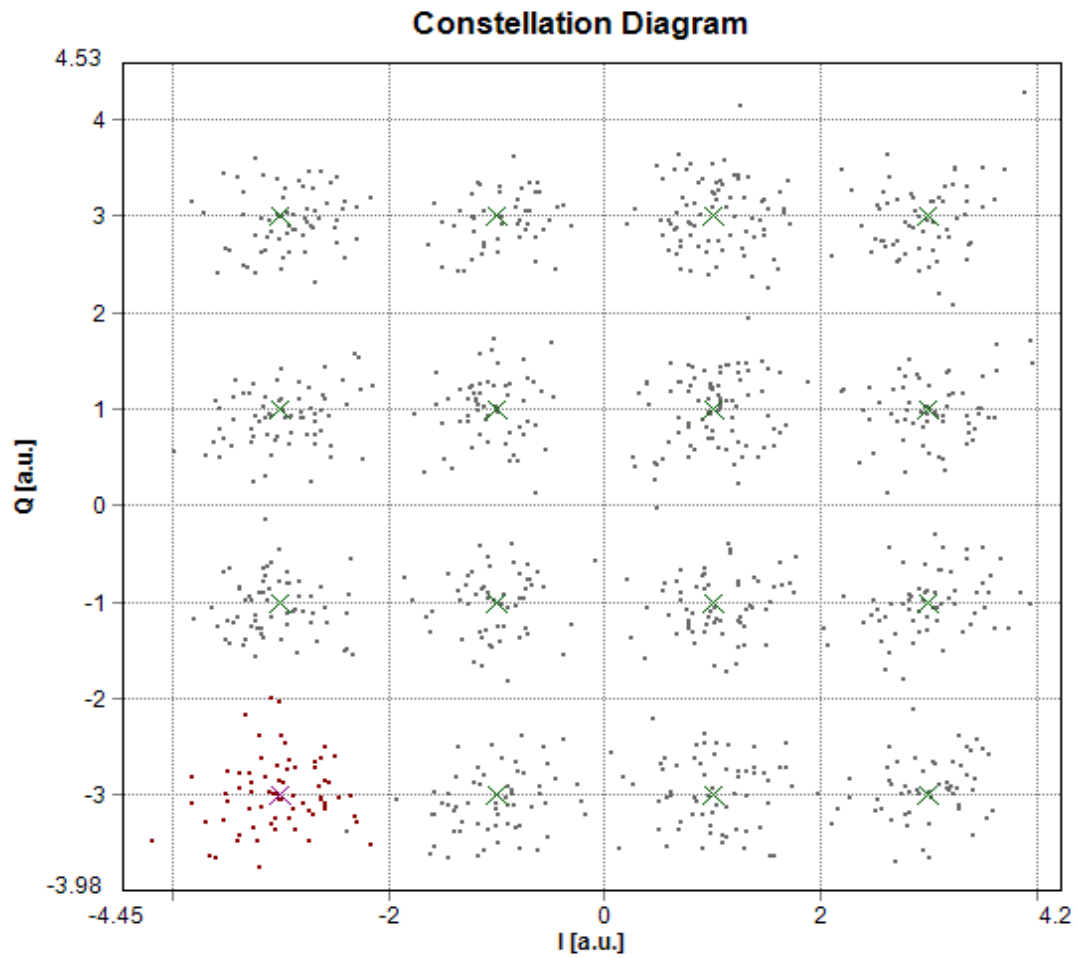


Figure III.8:diagramme de constellation de la porteuse numéro(3) en Attenuation 0.2×10^{-3} db/m et coefficient non lineaire $0m^2/w$

À la porteuse de numéro3, nous notons que les points d'assemblage sont loin du centre.

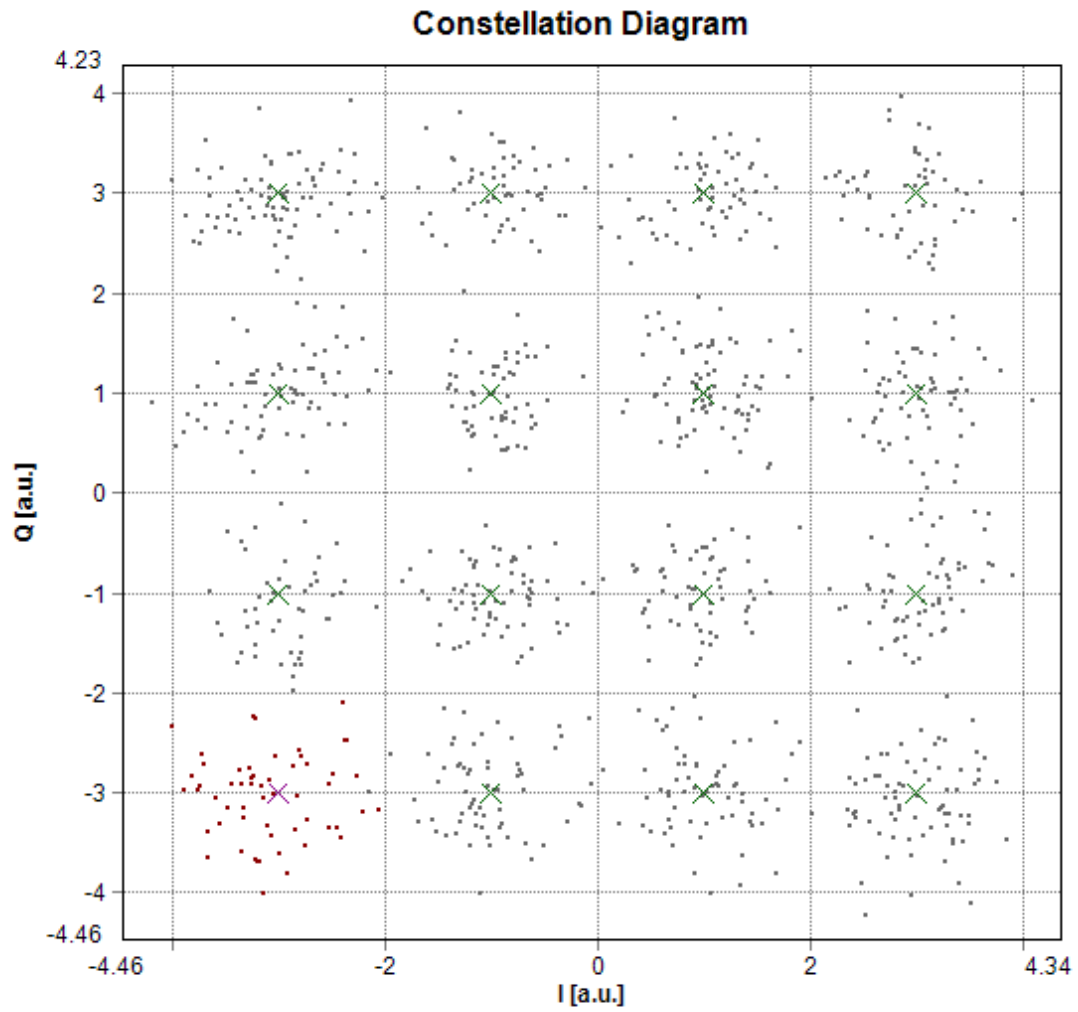


Figure III.9:diagramme de constellation de la porteuse numéro(4) en Attenuation 0.2×10^{-3} db/m et coefficient non lineaire $0m^2/w$

À la porteuse de numéro4, nous notons que les points d'assemblage sont loin du centre.

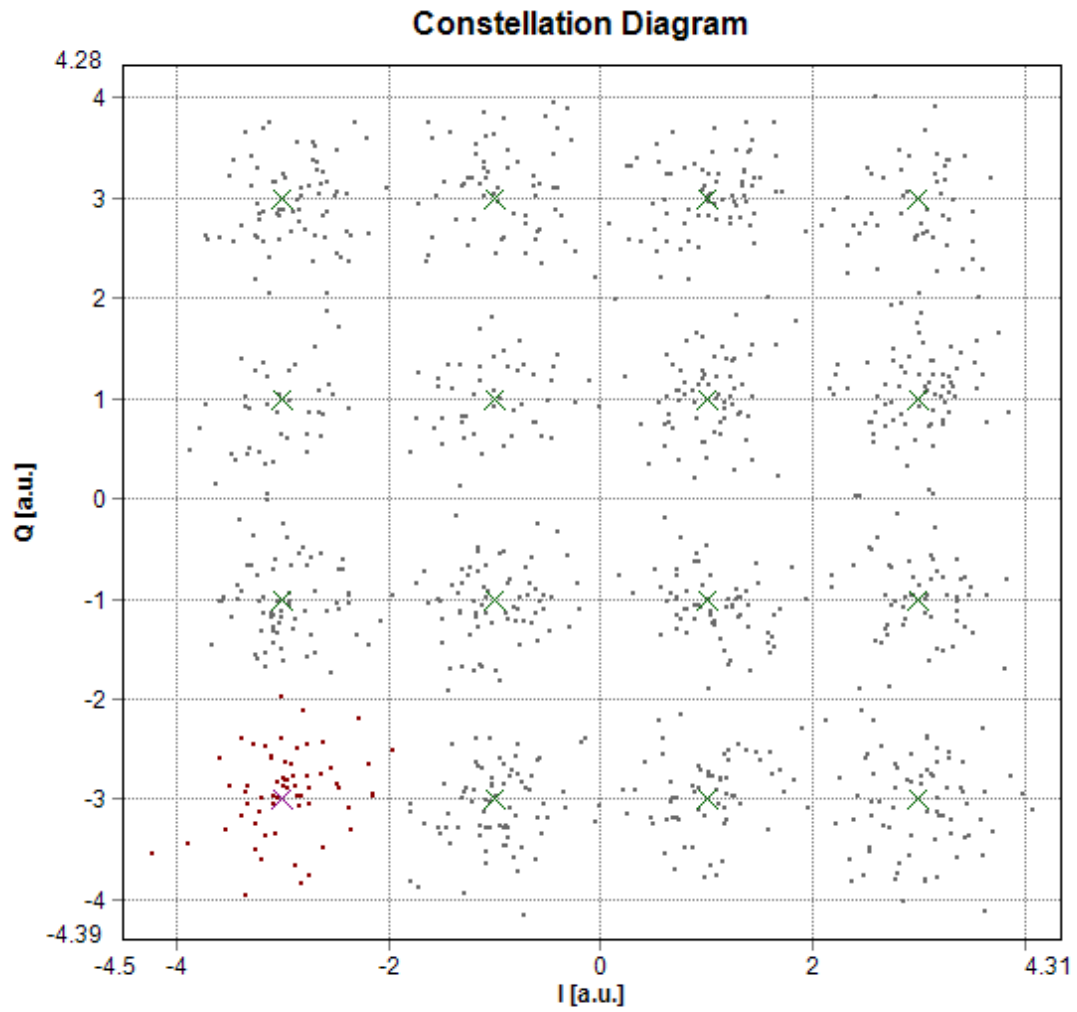
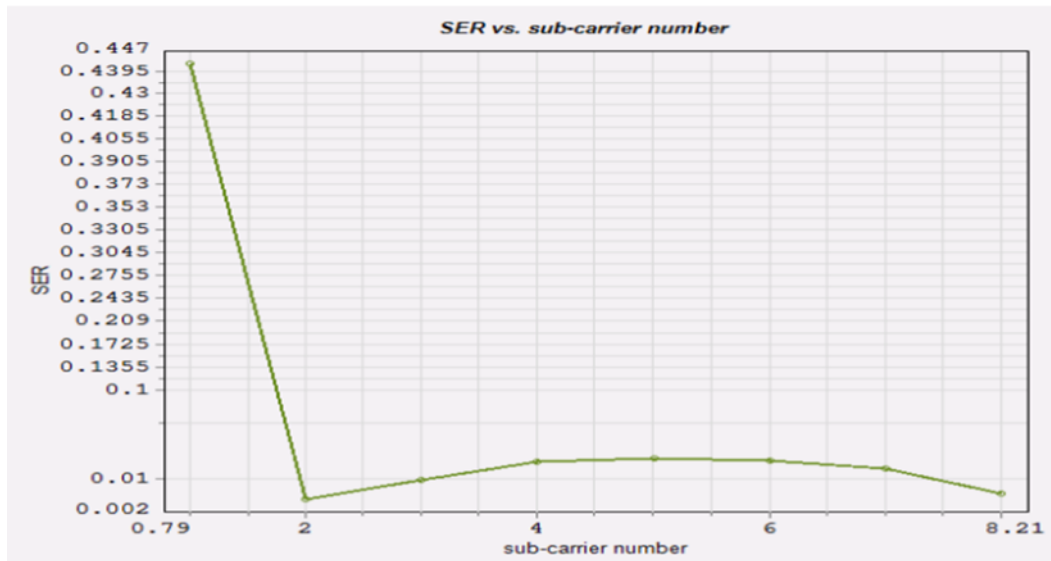


Figure III.10:diagramme de constellation de la porteuse numéro(5) en Attenuation 0.2×10^{-3} db/m et coefficient non lineaire $0m^2/w$

À la porteuse de numéro5, nous notons que les points d'assemblage sont loin du centre.



FigureI II.11: lavariation SER en fonction de porteuse pour attunuation 0.2 dB/km et coefficient non lineaire $0m^2/w$.

FigureI II.11représente lavariation SER avec le numéro de porteuse en casPertes dans la fibre est 0.2 dB/km

Nous constatons une diminution de la valeur SER de 0,447 porteuse 0 à une valeur 0,002 à la porteuse 2 , jusqu'à ce que le SER augmente ensuite en augmentant le nombre de sous-porteurs jusqu'à ce qu'il diminue SER de nouveau à sous-porteuse 8,21

3.3 Effet non linéaire

Nous avons étudié L'effet de perte sur la qualité de transmission de la liasion pour cela on a :

$$\alpha= 0 \text{ db/m} , n_2=2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/w$$

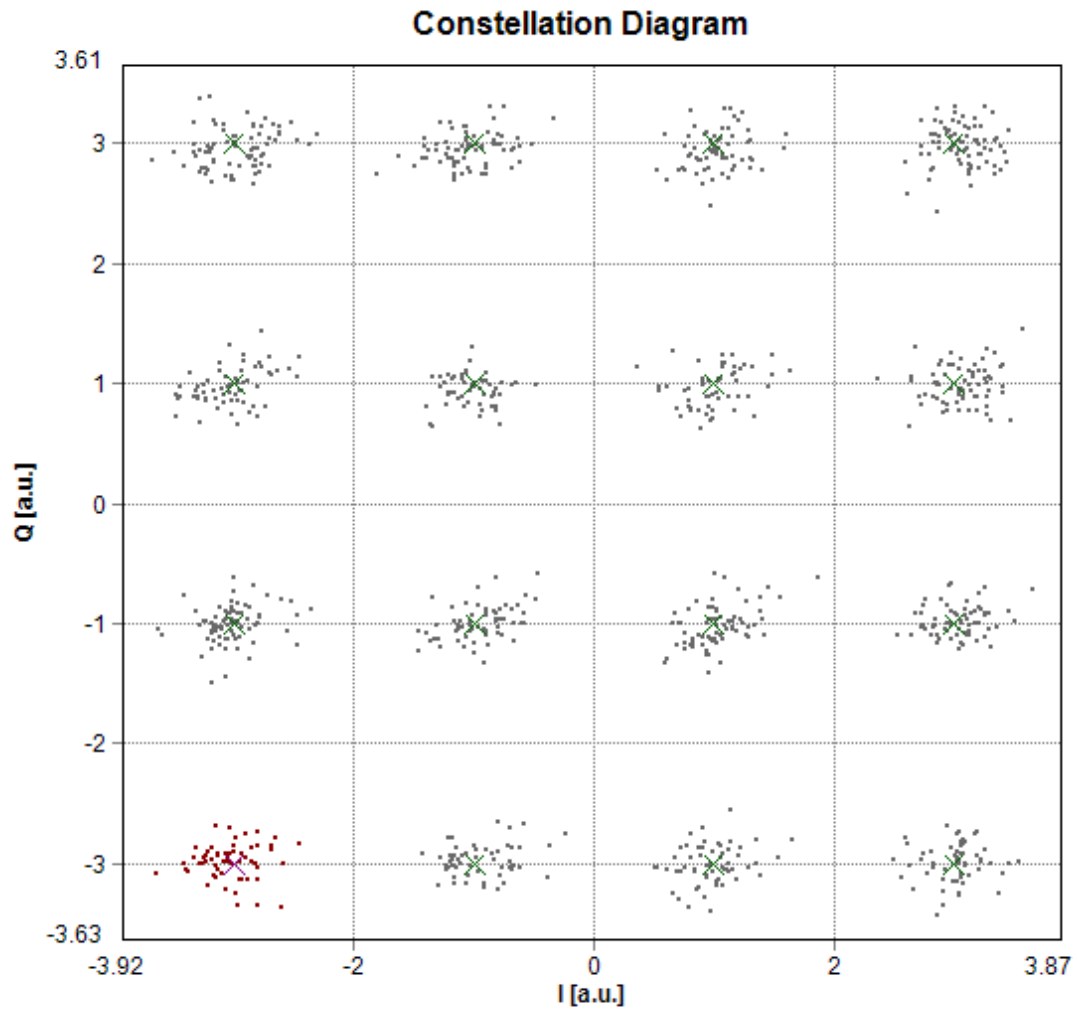


Figure III.12 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(2) en Attenuation 0 db/m et coefficient non lineaire $2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$

Au sous-pourteuse 2, nous notons que les points sont stationné.

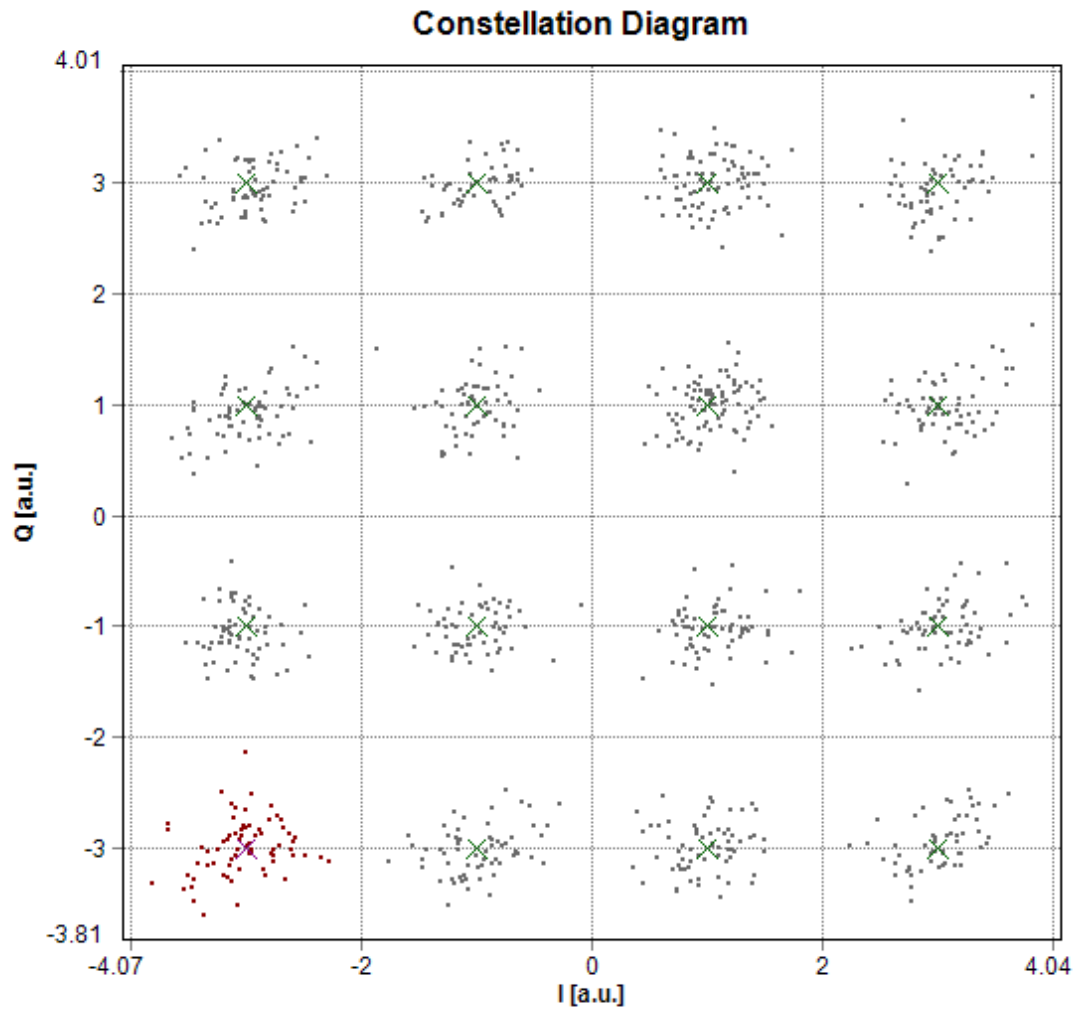


Figure III.13 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(3) en Attenuation 0 db/m et coefficient non linéaire $2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$

Au sous-porteuse 3, nous notons que les points sont centrée à un rythme inférieur à la sous-porteuse 2 .

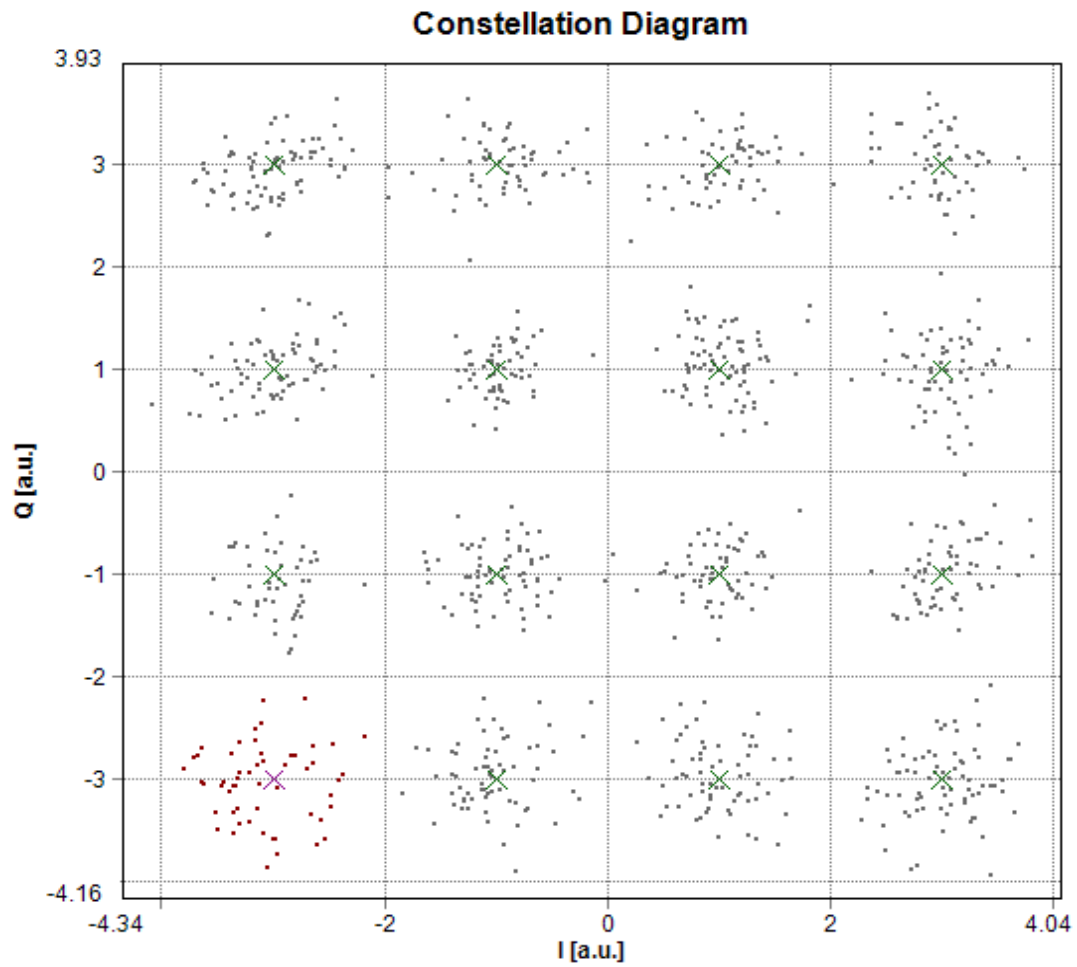


Figure III.14 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(4) en Attenuation 0 db/m et coefficient non lineaire $2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$

Noter au sous-porteuse 4 que les points ne sont pas centrés

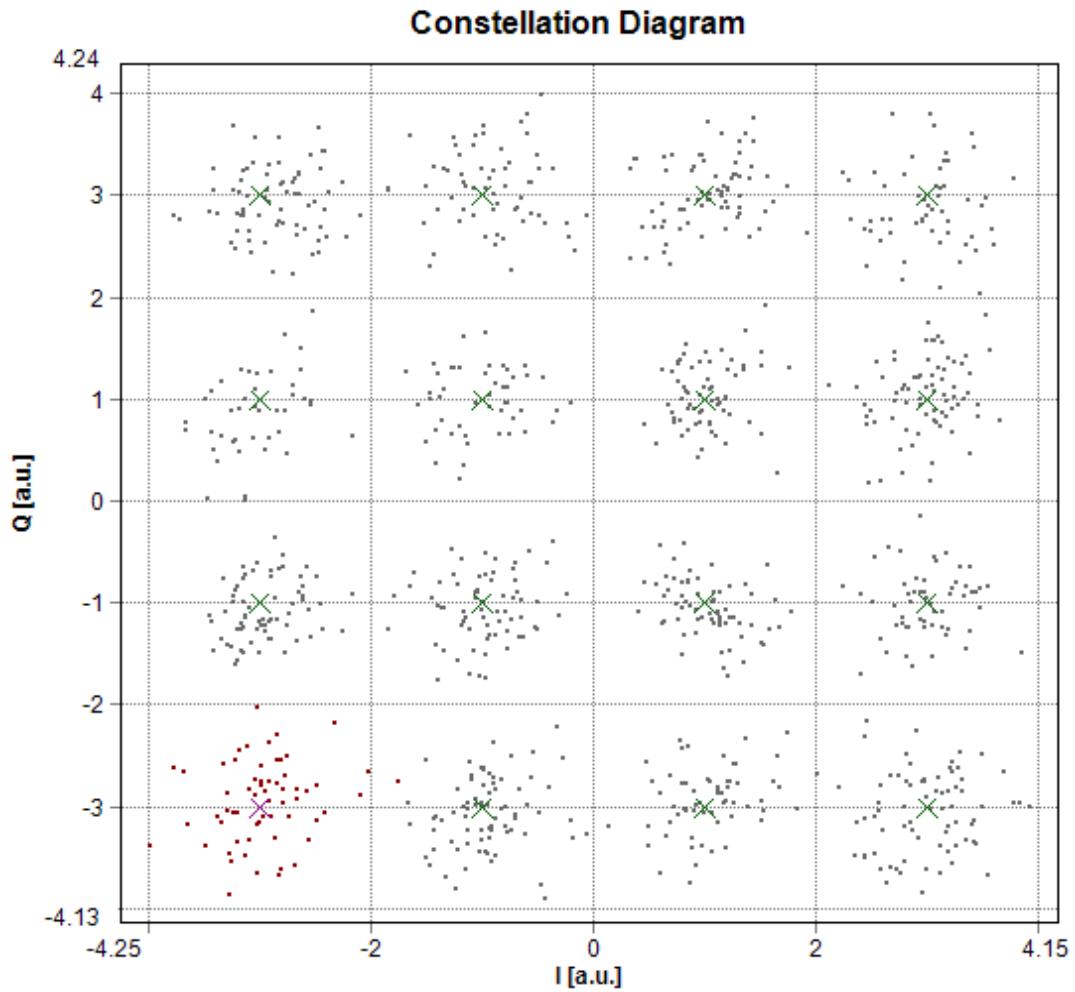


Figure III.15 :diagramme de constellation de la porteuse numéro(5) en Attenuation 0 db/m et coefficient non lineaire $2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$

Noter au sous-porteuse 5 que les points ne sont pas centrés

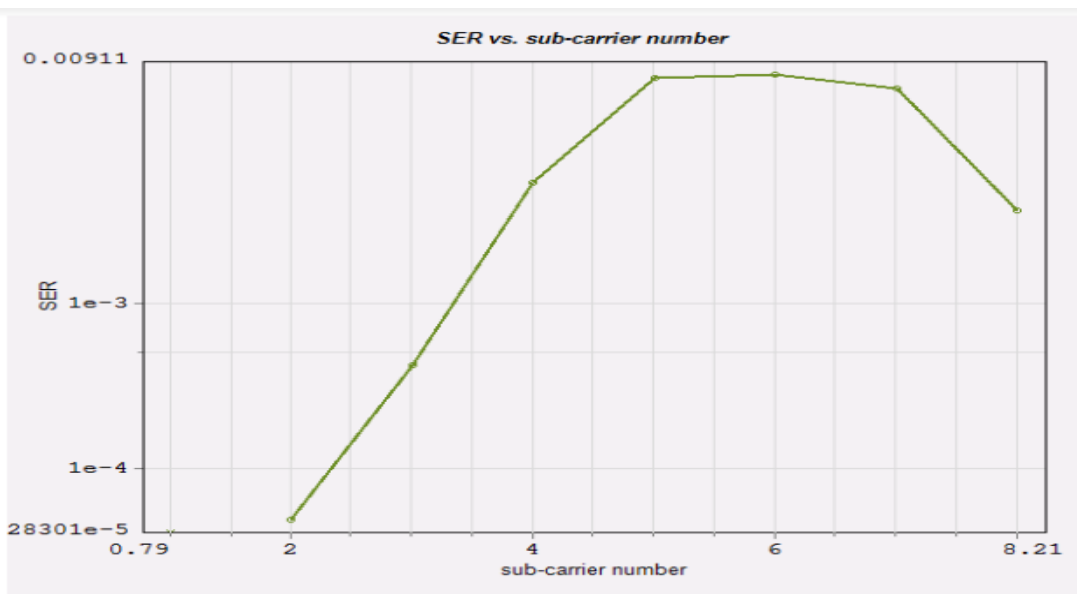


Figure III.16 : la variation SER en fonction de porteuse pour atténuation 0 dB/km et coefficient non linéaire $2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{w}$

Représenter la Figure III.16 la variation SER Effet non linéaire est prise par considération

Notez que le SER augmente en augmentant le nombre de porteuse, où à porteuse 2 nous avons enregistré $\text{SER} = 3.2801$, après montre la valeur de SER augmente jusqu'à ce qu'elle diminue au sous-porteur 8,21.

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les différents blocs d'une liaison OFDM –PON.

Grâce au processus de simulation, nous avons remarqué que lorsque la sous-porteuse 2 était dans l'état d'atténuation nulle, la valeur de SER était de 2,05787, et en présence d'atténuation, la valeur de SER diminuait à 0,002, tandis qu'en présence d'effets non linéaires, la valeur de SER est devenue égale à 3,28301, et nous en concluons que les effets qui se produisent sur la fibre optique ont affecté le taux d'erreur et la qualité de transmission des données .

Conclusion général

Conclusion général

Conclusion général :

Ce projet de fin de cycle porte sur l'étude des systèmes de communications optiques multiplexés par technique division de fréquence orthogonales dans les réseaux d'accès optiques.

Nous avons perçu l'importance de la fibre optique qui s'est imposé comme meilleur des supports développés jusqu'ici, avec une grande bande passante et une faible atténuation.

La première partie était consacrée aux concepts de base des systèmes de transmission optique. Nous avons décrit les différentes parties des systèmes de transmission optique qui sont la modification du signal généré par laser et la diffusion et la réception de la fibre optique. Nous avons également décrit divers effets linéaires et non linéaires qui limitent la diffusion dans les fibres optiques tout en mentionnant les avantages du support optique.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié les types de réseaux de communication ainsi que les techniques de multiplication des données et la technologie OFDM spéciale.

La simulation portant sur le système OFDM-PON a montré que ce domaine prometteur permet aux usagers d'avoir un haut débit avec une grande flexibilité.

Ce sujet n'est qu'une ouverture pour accéder à d'autres études, des améliorations feront l'objet de travaux à venir sur les performances du système complet et sur des nouvelles applications (intégration de nouveaux réseaux radio).

RÉFÉRENCES

BIBLIOGRAPHIE

REFERENCES

REFERENCES

- [1] J.L. VERNEUIL, « Simulation de systèmes de télécommunications par fibre optique à 40 Gbit/s » Thèse de Doctorat de l'université de Limoges, (novembre 2003).
- [2] G.P. AGRAWAL, « Fiber-Optic Communication Systems », Institute of optics University of Rochester New York, (April 2010).
- [3] T.N. NGUYEN, « Etude de composants optiques à base de fibres optiques non linéaire » Thèse de DOCTORAT de l'université de Rennes, Ecole Nationale Supérieure de Sciences Appliquées et de Technologie Laboratoire Foton, (Octobre 2008).
- [4] M. Lefrançois, « Etude de technologies avancées pour l'optimisation des systèmes de transmission optique multiplexés en longueur d'onde au débit de 40 Gbit/s », Thèse de DOCTORAT de l'université Paris-Sud, (décembre 2007).
- [5] CHEDALA Latra & LABADI Hana « Variantes de Format RZ et NRZ destinées aux systèmes de transmission optiques à haut débit », Mémoire de Fin d'Étude En vue de l'obtention du diplôme de Master académique de l'université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, (Juin 2018).
- [6] CASSAN, Eric, "Une introduction aux télécommunications optiques par la simulation de systèmes simples (2003).
- [7] DANSOU, Fiacre Arnaud Godfred, « Etude des performances de la ML-SIPM-OFDM dans un réseau d'accès optique TWDM-PON », Mémoire de Fin d'Étude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER Université D'ABOMEY-Calavi (UAC), (2021).
- [9] MEDJOURI Abdelkader, « communication optique », cours de l'université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued, (2022/2023).
- [11] BENAMEUR, Sarah « La mise en oeuvre, dans une chaîne de transmission optique, à haut débit, de filtres optiques à longueur d'onde centrale réglable » , Thèse de Doctorat de l'université de Limoges, et l'université de SIDI BEL-ABBES Soutenue le 30 Juin 2015.
- [12] Keiser, Gerd, and Gerd Keiser. « Fiber optic communication networks », Springer Singapore, (2021).
- [13] BOUDRIOUA Nassima, « Etude et optimisation d'une chaîne de transmission numérique par voie optique : vers une compensation électronique des effets de la PMD », Université Paul Verlaine - Metz, (2007).
- [14] HUI, Rongqing, « Introduction to Fiber-Optic Communications », Academic Press, (2019).

REFERENCES

- [15] Victor Girondin, «Etude et modélisation d'un modulateur à électro-absorption pour des applications de transmission radio sur fibre de signaux ULB aux fréquences centimétriques - Simulation système et caractérisation d'une liaison radio sur fibre à modulation externe», These de DOCTORAT, L'université PIERRE ET MARIE CURIE, (mai 2016).
- [16] MERZOUK, Khalil, « Étude d'un système bas coût de transmission optique par multiplexage temporel», These de DOCTORAT Institut National Polytechnique de Grenoble-INPG, (2008).
- [17] Maury, Julien. «Étude et caractérisation d'une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique», Université de Limoges, Thèse de DOCTORAT, (2003).
- [18] SAOUD Abderrezzak & GADI Abdelkader & REDOUANI Mohammed, «Analyse des performances des systèmes de communications optiques multiplexés employant des micro-résonateurs en anneau cascades. » Mémoire de Fin d'Étude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER académique de L'université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued ,(2021).
- [19] PROAKIS, John G, « Communication systems engineering», New Jersey: Prentice Hall, (1994).
- [20] BEDADDA Ayman & GUEDIRI Lazhar. «Etude et analyse des performances d'un réseau optique passif large bande bidirectionnel (BPON). » Mémoire de Fin d'Étude En vue de l'obtention du diplôme de MASTER académique de L'université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued ,(2018).
- [21] WEI, J. L., « Significant improvements in optical power budgets of real-time optical OFDM PON systems». Optics express, (2010).